UAB
Universitat Autònoma de Barcelona

Caracterización hidrogeoquímica regional de las cuencas petrolíferas de Venezuela

Landann Escorcia

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons: https://creativecommons.org/licenses/?lang=ca

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons: https://creativecommons.org/licenses/?lang=es

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license: https://creativecommons.org/licenses/?lang=en

Universitat Autónoma de Barcelona

Escuela de Doctorado

Doctorado de Geología

Caracterización hidrogeoquímica regional de las cuencas petrolíferas de Venezuela

Tesis Doctoral

Landann Escorcia

Tutora:

Mercè Corbella

Junio 2026

Resumen

Las principales cuencas petrolíferas de Venezuela tienen una historia productiva de casi un siglo, en las cuales los fluidos de yacimiento comparten complejas rutas de migración y acumulación. Esta investigación tuvo como objetivo establecer un modelo hidrogeoquímico regional para determinar la procedencia, evolución y correlación de las aguas asociadas a estos sistemas, evaluando su impacto directo en aspectos como la alteración post-entrampamiento de los hidrocarburos y la calidad de los reservorios.

El enfoque metodológico integró la caracterización de 818 muestras de aguas superficiales y subterráneas, analizadas mediante iones mayoritarios, minoritarios y traza. Adicionalmente, se acopló una evaluación hidrológica isotópica y una sólida modelización termodinámica de interacciones roca-fluido e invasión de fluidos a través del código PHREEQC.

Los resultados demuestran la coexistencia de tres facies fundamentales: aguas connatas, meteóricas y de mezcla. La Cuenca Barinas Apure exhibe una dinámica dominada por facies sulfatadas y mezcla progresiva con alta capacidad de disolución basal. En la Cuenca Maracaibo Falcón predominan mezclas influenciadas por agua marina, inversiones geoquímicas y alto riesgo de precipitación de carbonatos sobre lineamientos estructurales. Por su parte, la Cuenca Oriental presenta un sistema fuertemente amortiguado por aguas cloruradas sódicas, donde la elevada fuerza iónica de las aguas controla la estabilidad mineral autigénica. Se identificó una diferenciación geoquímica a ambos lados de elementos estructurales mayores, como las fallas de Anaco e Icotea; asimismo, los registros de pozos muestran afectación cuando los sólidos disueltos de las muestras de agua son inferiores a 1.000 mg/L.

Finalmente, el estudio proporciona un modelo predictivo para la industria petrolera. Se demostró matemáticamente que las facies de baja salinidad actúan como el agente primario para el lavado por aguas, mitigando el efecto *salting-out* y promoviendo entornos favorables para la biodegradación microbiana en reservorios someros (<80°C). Asimismo, las simulaciones prospectivas de mezcla evidenciaron contrastes severos en el riesgo de daño a la formación (taponamiento por cementación secundaria vs. ganancia de porosidad), aportando criterios técnicos indispensables para optimizar la producción y recuperación mejorada en yacimientos complejos. Por ejemplo, en la Cuenca Maracaibo Falcón el modelado predictivo desde el punto de vista termodinámico en la incursión de lodo tipo salmuera eleva los índices de saturación de calcita; en contraste, la invasión meteórica induce una inversión geoquímica hacia la disolución activa, disminuyendo el riesgo de cementación secundaria al suroeste de la cuenca.

Abstract

The main oil basins of Venezuela hold a hydrocarbon production history spanning nearly a century, within which reservoir fluids share complex migration and accumulation pathways. This research aimed to establish a hydrogeochemical framework model to determine provenance, evolution, and correlation of the waters associated with these systems, evaluating their direct impact on aspects such as post-entrapment hydrocarbon alteration and reservoir quality.

The methodological approach integrated the characterization of 818 surface and groundwater samples, analyzed for major, minor, and trace ions. Additionally, an isotopic hydrological evaluation was coupled with a robust thermodynamic modeling of rock-fluid interactions and fluid invasion utilizing the PHREEQC code.

Results demonstrate the coexistence of three fundamental facies: connate, meteoric, and mixed waters. The Barinas Apure basin exhibits dynamics dominated by sulfate facies and progressive mixing with high basal dissolution capacity. In the Maracaibo Falcón basin, mixtures influenced by seawater, geochemical inversions, and an elevated risk of carbonate precipitation over structural lineaments predominate. Meanwhile, the Eastern basin presents a system strongly buffered by sodium-chloride waters, where the high ionic strength controls authigenic mineral stability. A geochemical differentiation was identified across major structural elements, such as the Anaco and Icotea faults; likewise, well logs show an effect when the total dissolved solids of the water samples are below 1,000 mg/L.

Finally, the study provides a predictive model for the oil industry. It was mathematically demonstrated that low-salinity facies function as the primary agent for water washing, mitigating the salting-out effect, and promoting favorable environments for microbial biodegradation in shallow reservoirs (< 80 °C). Furthermore, prospective mixing simulations evidenced severe contrasts in the risk of formation damage (plugging by secondary cementation vs. porosity gain), providing indispensable technical criteria to optimize production and enhance oil recovery in complex reservoirs. For example, within the Maracaibo Falcón Basin, predictive thermodynamic modeling demonstrates that the infiltration of brine-based drilling muds drives up calcite saturation indices. Conversely, meteoric water invasion triggers a geochemical reversal toward active dissolution, mitigating the risk of secondary cementation in the southwestern part of the basin.

ÍNDICE

Abstract 3
ÍNDICE 4
ÍNDICE DE FIGURAS 9
ÍNDICE DE TABLAS 33
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN 36
Hipótesis 39
CAPÍTULO II. MARCO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DE VENEZUELA 41
II. 1. Marco Geológico de Venezuela (*onshore*) 42
II. 2. Cuenca hidrográfica de Venezuela 47
II. 3. Contexto hidrogeoquímico 49
II. 3. 1 CUENCA DE MARACAIBO 49
II. 3. 2 CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA 50
II. 4. Sistemas Petrolíferos de las cuencas Barinas- Apure, Subcuenca de Guárico y Cuenca Oriental de Venezuela 52
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA Y CONCEPTOS APLICADOS 55
III. 1. Creación de la base de datos 55
III. 2. Caracterización hidrogeoquímica 57
III. 2. 1 ANÁLISIS DE ELEMENTOS QUÍMICOS MAYORITARIOS Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS 57
III. 2. 2 ANÁLISIS DE ELEMENTOS QUÍMICOS MINORITARIOS Y TRAZAS 65
III. 2. 3 ANÁLISIS ISOTÓPICOS 67
Paso 1. Estimar punto común entre la línea de evaporación local (LEL) y la línea meteórica local (LLWL) 73
Paso 2. Estimar la pendiente de la LEL 73
Paso 3. Estimar el intercepto de la LEL 75
III. 2. 4 CLASIFICACIONES ESTÁNDAR 75
III. 3. Simulación fisicoquímica 77
III. 4. Alteración de hidrocarburos 81
CAPÍTULO IV. BASE DE DATOS HIDROGEOQUÍMICA 83
IV. 1. Datos Disponibles 84
IV. 2. Identificación de datos anómalos 85
IV. 3. Base de Datos Hidrogeoquímica 85
IV. 3. 1 GENERACIÓN DE LAS LÍNEAS DE REFERENCIA PARA EL ANÁLISIS ISOTÓPICO 87
Línea de Evaporación Local para la Cuenca de Maracaibo 90
Línea de Evaporación Local para la Cuenca Oriental 91
CAPÍTULO V. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA 95
V. 1. Cuenca Barinas Apure 95
V. 1. 1 SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES Y CLASIFICACIÓN DE (HEM, 1970) 99
V. 1. 2 CORRELACIÓN DE ELEMENTOS MAYORITARIOS 102
Cloruro *104*
Cloruro y sulfato 104
Cloruro y sodio 105
Cloruro y calcio 107
Cloruro y magnesio 109

Cloruro y bicarbonato 110
Bicarbonato y carbonato *111*
Bicarbonato y sodio 112
Bicarbonato y calcio 113
Bicarbonato y magnesio 115
Bicarbonato y sulfato 117
Sulfato *118*
Sulfato y calcio 118
Sulfato y magnesio 120
Sodio y potasio *121*
Calcio y magnesio *122*
Elementos minoritarios *127*
V. 1. 3 CONCENTRACIONES DE SODIO Y CLORO Y CLASIFICACIÓN DE SULIN (1946) 128
V. 1. 4 DIAGRAMAS DE ELEMENTOS MAYORITARIOS Y LA CLASIFICACIÓN DE SCHOELLER (1977) 131
V. 1. 5 CLASIFICACIÓN DE DIAGRAMA MÚLTIPLE TRIANGULAR DE PIPER (1944) 135
V. 1. 6 PATRONES EN LAS MUESTRAS DE AGUA Y LA CLASIFICACIÓN DE STIFF (1951) 138
V. 2. Cuenca Maracaibo Falcón 141
V. 2. 1 SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES Y CLASIFICACIÓN DE HEM (1970) 146
V. 2. 2 CORRELACIÓN DE ELEMENTOS MAYORITARIOS 149
Cloruro *151*
Cloruro y sodio 151
Cloruro y calcio 153
Cloruro y magnesio 156
Cloruro y sulfato 158
Cloruro y bicarbonato 160
Cloruro y bromuro 162
Bicarbonato y carbonato *163*
Bicarbonato y sodio 163
Bicarbonato y calcio 166
Bicarbonato y magnesio 168
Bicarbonato y sulfato 171
Sulfato *173*
Sulfato y calcio 173
Sulfato y magnesio 174
Sodio y potasio *176*
Calcio y magnesio *177*
Elementos minoritarios *180*
V. 2. 3 CONCENTRACIONES DE SODIO Y CLORO Y CLASIFICACIÓN DE SULIN (1946) 185
V. 2. 4 DIAGRAMAS DE ELEMENTOS MAYORITARIOS Y LA CLASIFICACIÓN DE SCHOELLER (1977) 188
V. 2. 5 CLASIFICACIÓN DE DIAGRAMA MÚLTIPLE TRIANGULAR DE PIPER (1944) 191
V. 2. 6 PATRONES EN LAS MUESTRAS DE AGUA Y LA CLASIFICACIÓN DE STIFF (1951) 194
V. 2. 7 ANÁLISIS ISOTÓPICOS 197
V. 3. Cuenca Oriental de Venezuela 200
V. 3. 1 SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES Y CLASIFICACIÓN DE HEM (1970) 205
V. 3. 2 CORRELACIÓN DE ELEMENTOS MAYORITARIOS 208
Cloruro *210*
Cloruro y sodio 210
Cloruro y calcio 213
Cloruro y magnesio 215
Cloruro y sulfato 217
Cloruro y bicarbonato 219
Cloruro y bromuro 221
Bicarbonato y carbonato *222*
Bicarbonato y sodio 223
Bicarbonato y calcio 225
Bicarbonato y magnesio 227
Bicarbonato y sulfato 229
Sulfato *230*
Sulfato y calcio 230

Sulfato y Magnesio 231
Sodio y potasio *233*
Calcio y magnesio *234*
Elementos minoritarios *237*
V. 3. 3 CONCENTRACIONES DE SODIO Y CLORO Y CLASIFICACIÓN DE SULIN (1946) 242
V. 3. 4 DIAGRAMAS DE ELEMENTOS MAYORITARIOS Y LA CLASIFICACIÓN DE SCHOELLER (1977) 245
V. 3. 5 CLASIFICACIÓN DE DIAGRAMA MÚLTIPLE TRIANGULAR DE PIPER (1944) 248
V. 3. 6 PATRONES EN LAS MUESTRAS DE AGUA Y LA CLASIFICACIÓN DE STIFF (1951) 251
V. 3. 7 ANÁLISIS ISOTÓPICOS 253
CAPÍTULO VI. FACIES HIDROGEOQUÍMICA Y EL CONTEXTO GEOLÓGICO 264
VI. 1. Facies hidrogeoquímicas Cuenca Barinas Apure 264
VI. 1. 1 FACIES DE AGUAS BICARBONATADA SÓDICAS 266
VI. 1. 2 FACIES DE AGUAS CLORURADA Y BICARBONATADA SÓDICA 269
VI. 1. 3 FACIES DE AGUAS CLORURADA SÓDICA 271
VI. 1. 4 FACIES DE AGUAS CLORURADA MAGNÉSICA 273
VI. 1. 5 FACIES DE AGUAS CLORURADA Y SULFATADA SÓDICA 274
VI. 1. 6 FACIES DE AGUAS SULFATADA SÓDICA 277
VI. 1. 7 FACIES DE AGUAS SULFATADA CÁLCICA 278
VI. 1. 8 DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE LAS FACIES 280
VI. 2. Facies hidrogeoquímicas Cuenca Maracaibo Falcón 281
VI. 2. 1 FACIES DE AGUAS CLORURADA SÓDICA 285
Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como connatas *285*
Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como connatas diluidas *287*
Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como dulces con alta cantidad de sólidos disueltos totales *289*
Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como dulces con baja cantidad de sólidos disueltos totales *292*
Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como mezcla con agua de mar *293*
VI. 2. 2 FACIES DE AGUAS BICARBONATADA SÓDICA 297
Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como meteóricas *297*
Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como meteóricas con intercambio iónico *299*
Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como dulces con cantidad de sólidos disueltos de media a alta *301*
Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como mezcla *304*
Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como connatas muy diluidas *306*
VI. 2. 3 FACIES DE AGUAS SULFATADAS 310
VI. 2. 4 FACIES DE AGUAS CLORURADA CÁLCICA 313
VI. 2. 5 FACIES DE AGUAS BICARBONATADA CÁLCICA 317
VI. 2. 6 FACIES DE AGUAS CLORURADA MAGNÉSICA 320
VI. 2. 7 FACIES DE AGUAS BICARBONATADA MAGNÉSICA 322
VI. 2. 8 DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE LAS FACIES 325
VI. 3. Facies hidrogeoquímicas Cuenca Oriental de Venezuela 327
VI. 3. 1 FACIES DE AGUAS CLORURADA SÓDICA 332
Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como mezcla con agua de mar *332*
Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como connatas *333*
Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como connatas diluidas *336*
Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como connatas evolucionadas *339*
Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como mezcla *341*
Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como connatas muy diluidas *344*
Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como de intercambio iónico *346*
Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como connatas muy diluidas con SDT bajo *349*
VI. 3. 2 FACIES DE AGUAS BICARBONATADA SÓDICA 354
Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como meteóricas *354*
Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como meteóricas con intercambio iónico *355*
Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como dulces con cantidad de sólidos disueltos de media a alta *356*
Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como mezclas *358*

Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como mezcla con cantidad de sólidos disueltos media a alta ... *360*
VI. 3. 3 Facies de aguas sulfatadas sódica ... 364
VI. 3. 4 Facies de aguas clorurada cálcica ... 367
VI. 3. 5 Facies de aguas bicarbonatada cálcica ... 372
VI. 3. 6 Facies de aguas bicarbonatada magnésica ... 375
VI. 3. 7 Distribución vertical de las facies ... 378
CAPÍTULO VII. SIMULACIÓN FISICOQUÍMICA ... 382
VII. 1. Casos de estudio ... 386
VII. 1. 1 Caso 1. Evidencias de muestras bicarbonatadas sódicas a 15.000 pies (~5.000 metros) de profundidad ... 388
VII. 1. 2 Caso 2. Evidencias de muestras cloruradas sódicas con una clasificación dulce de acuerdo con Hem (1970) ... 390
VII. 1. 3 Caso 3. Evidencias de muestras cloruradas sódicas cercanas a agua de mar ... 392
VII. 1. 4 Caso 4. Evidencias de muestras sulfato sódicas a una profundidad de 6.000-9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros) ... 393
VII. 1. 5 Caso 5. Evidencias de muestras enriquecidas en la concentración de potasio en relación con la concentración de sodio ... 395
VII. 1. 6 Caso 6. Muestras cloruradas cálcica por intercambio iónico ... 397
VII. 1. 7 Caso 7. Muestras cloruradas magnésica por intercambio iónico ... 399
VII. 1. 8 Caso 8. Muestras bicarbonatadas cálcicas por intercambio iónico ... 400
VII. 1. 9 Caso 9. Muestras bicarbonatadas magnésicas por intercambio iónico ... 402
VII. 1. 10 Caso 10. Muestras con sólidos disueltos totales menores a mayor profundidad ... 403
VII. 2. Modelo estático de las facies hidrogeoquímicas para precipitación de fases minerales en diferentes temperaturas ... 407
VII. 2. 1 Cuenca Barinas Apure ... 408
Condiciones termodinámicas para la precipitación de anhidrita ... *408*
Condiciones termodinámicas para la precipitación de carbonatos (aragonito, dolomita y calcita) ... *408*
Condiciones termodinámicas para la precipitación de óxidos e hidróxidos de hierro (goetita y hematita) ... *412*
VII. 2. 2 Cuenca Maracaibo Falcón ... 412
Condiciones termodinámicas para la precipitación de anhidrita y/o yeso ... *412*
Condiciones termodinámicas para la precipitación de carbonatos (aragonito, dolomita y calcita) ... *416*
Condiciones termodinámicas para la precipitación de óxidos e hidróxidos de hierro (goetita y hematita) ... *422*
VII. 2. 3 Cuenca Oriental ... 425
Condiciones termodinámicas para la precipitación de anhidrita y/o yeso ... *425*
Condiciones termodinámicas para la precipitación de carbonatos (aragonito, dolomita y calcita) ... *428*
Condiciones termodinámicas para la precipitación de halita ... *434*
VII. 3. Modelo Dinámico en las facies hidrogeoquímicas en interacciones fluido-roca ... 434
VII. 3. 1 Cuenca Barinas Apure ... 435
Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con calcita y/o dolomita ... *435*
Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con yeso y/o anhidrita ... *436*
Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con halita ... *437*
Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con pirita ... *438*
VII. 3. 2 Cuenca Maracaibo Falcón ... 439
Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con calcita y/o dolomita ... *439*
Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con yeso y/o anhidrita ... *440*
Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con pirita ... *442*
Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con halita ... *443*
VII. 3. 3 Cuenca Oriental de Venezuela ... 444
Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con calcita y/o dolomita ... *444*
Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con yeso y/o anhidrita ... *446*
Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con halita ... *447*
Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con pirita ... *448*
VII. 4. Posibles riesgos de cementación en pozos o en la mezcla de aguas ... 449
CAPÍTULO VIII. FACIES HIDROGEOQUÍMICAS Y LOS PROCESOS DE ALTERACIÓN DE HIDROCARBUROS ... 461

VIII. 1. Cuenca Barinas Apure 463
VIII. 2. Cuenca de Maracaibo Falcón 466
VIII. 3. Cuenca Oriental 468
CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES 473
CAPÍTULO X. RECOMENDACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN 477
CAPÍTULO XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 479
Anexos 494
ANEXO A. DATOS BÁSICOS DE LA BASE DE DATOS HIDROGEOQUÍMICA UTILIZADA EN LA INVESTIGACIÓN 495
ANEXO B. DATOS VÁLIDOS DE LOS ELEMENTOS MAYORITARIOS Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS UTILIZADA EN LA INVESTIGACIÓN 505
ANEXO C. EJEMPLOS DE ARCHIVOS BASE UTILIZADOS EN LAS SIMULACIONES FISICOQUÍMICAS DE LA INVESTIGACIÓN. 513

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del ciclo hidrológico entre la atmósfera y la litósfera considerando los procesos que conlleva el paso de un lugar a otro. M: Origen magmático T: Transpiración P: Precipitación E: Evaporación I: Infiltración Pc: Percolación R-o Agua de escorrentía (traducida de Bowen, 1986). 37

Figura 2. Cuadros de correlación bioestratigráfica de la cuencas Barinas Apure con el objetivo de correlacionar las unidades depositacionales y los eventos tectónicos de orden mayor con las formaciones litológicas que han sido descritas en el Léxico Estratigráfico de Venezuela (Modificado de Ministerio de Energıa y Minas, 1997). 43

Figura 3. Cuadros de correlación bioestratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela con el objetivo de correlacionar las unidades depositacionales y los eventos tectónicos de orden mayor con las formaciones litológicas que han sido descritas en el Léxico Estratigráfico de Venezuela (Modificado de Ministerio de Energía y Minas, 1997). 44

Figura 4. Rasgos estructurales principales de Venezuela hoy en día, producto de los eventos compresivos, extensivos y transcurrentes que han ocurrido durante las tectonosecuencias T1, T2 y T3 del marco geológico de Venezuela, con los nombres de las principales fallas. Tomado de (González *et al*., 2018). 47

Figura 5. Mapa físico, relieve e hidrografía de Venezuela resaltando los principales elementos topográficos de interés para la investigación (Modificado de Castillo, 2010). 48

Figura 6. Patrón de recarga de aguas meteóricas y aguas connatas en la Subcuenca de Maturín para mostrar la dirección preferencial de recarga y descarga del agua meteórica (Modificado de Angulo *et al*., 2016). 51

Figura 7. Ejemplo de un análisis fisicoquímico de una muestra de agua tomada durante la perforación de un pozo petrolero con información de iones mayoritarios y algunos minoritarios, así como de propiedades físicas (Modificado de PDVSA, 1971). Este tipo de ejemplos es el más común en la base de datos. 56

Figura 8. Reacción química de la evaporación de dióxido de carbono que pudiera ser responsable de la diferencia del 10% en el balance iónico de muestras de agua (Hem, 1970) 57

Figura 9. Gráficos interelementales utilizados para definir las características de las aguas, con la ubicación de una muestra de agua de mar en Venezuela (cuadrado de color morado). a) Na/Cl b) Na/HCO_3^- c) Na/SO_4^{2-} d) Mg^{2+}/Cl e) Mg^{2+}/HCO_3^- f) Mg^{2+}/SO_4^{2-} g) Ca^{2+}/Cl^- h) Ca^{2+}/HCO_3^- i) Ca^{2+}/SO_4^{2-} j) Na/K k) Cl^-/SO_4^{2-} l) Ca^{2+}/Mg^{2+} m) HCO_3^-/Cl^- y n) HCO_3^-/SO_4^{2-}. 65

Figura 10. Diagrama de flujos relativos en el ciclo hidrológico con posibles fraccionamientos durante los proceso de evaporación, precipitación y escorrentía. Tomado de Gat (1996). Nota: 100 unidades= flujo de evaporación desde el mar. 69

Figura 11. Diagramas conceptuales de la relación δ^2H y $\delta^{18}O$ con los cambios respecto a la línea meteórica mundial. a) Posibles líneas de evaporación y variación con la altitud y la humedad respecto a la línea meteórica mundial (modificado de Craig, 1961) con mayores aplicaciones para aguas superficiales. b) Variaciones en la composición del agua esperada con la interacción con minerales y rocas del entorno (Tomado de Diamond, 2022) con mayores aplicaciones en las aguas profundas. 71

Figura 12. Diagrama de la relación δ^2H y $\delta^{18}O$ para procesos de evaporación con las principales variables que son evaluadas en la construcción de una Línea de Evaporación Local (Traducido de Gat, 1996)). El término EL se refiere a la línea de evaporación, donde se observan distintas las pendientes (más adelante descritas como s) de acuerdo con los datos. 72

Figura 13. Diagrama simplificado del procedimiento necesario para estimar la línea de evaporación local (LEL). 72

Figura 14. Ejemplos de los diagramas utilizados en las clasificaciones estándar de muestras de agua en base a la concentración en miliequivalentes por litro de los iones mayoritarios (A) Piper (modificado de Back y Hanshaw, 1965) (B) Stiff (1951) (C) Schoeller (1977; modificado de Mandel y Shiftan (1981). 77

Figura 15. Disponibilidad de análisis químicos de muestras hidrogeoquímicas en pozos petroleros o de escorrentías y ríos, utilizados para la generación de la base de datos compilada de las cuencas Barinas Apure, Maracaibo Falcón y Oriental de Venezuela. 84

Figura 16. Disponibilidad de análisis fisicoquímicos e isotópicos de muestras hidrogeoquímicas en pozos petroleros o de escorrentías y ríos con un balance iónico inferior (color verde) o superior (color rojo) al 10%, utilizado para la generación de la base de datos válida de las cuencas Barinas Apure, Maracaibo y Oriental de Venezuela en base al criterio de Hem (1970)..... 85

Figura 17. Base de datos hidrogeoquímicos de iones mayoritarios (color azul) iones minoritarios y trazas (color verde) e isótopos (color rojo) que se utilizó durante la investigación. Tomada de muestras de agua en pozos petroleros y de ríos y escorrentías de trabajos previos para las cuencas Barinas Apure, Maracaibo y Oriental de Venezuela. 86

Figura 18. Diagrama δ^2H vs δ^{18}O con la línea de agua meteórica local (LMWL, en color azul claro, δ^2H=8,6 δ^{18}O+13) y la línea meteórica global (GMWL, en color azul oscuro, δ^2H=8δ^{18}O+10). La LMWL ha sido generada partir de la base de datos de la IAEA para Venezuela (símbolos "x" de color negro)..... 87

Figura 19. Simbología por utilizar para la caracterización hidrogeoquímica de Venezuela en base al rango de profundidad a la cual fue tomada la muestra y la Unidad Depositacional equivalente. Los colores de los símbolos muestran el intervalo de profundidad a la cual fue tomada la muestra: 0-1.000 pies en color azul claro, 1.000-3.000 pies en color azul oscuro, 3.000-6.000 pies en color verde claro, 6.000-9.000 pies en color verde oscuro, 9.000-12.000 pies en color fucsia y 12.000-15.000 pies en color naranja y 15.000-19.000 pies en color rojo. El tipo de símbolos se relacionan con las UD con la cual se podrían asociar las formaciones geológicas: UDII con cuadrado, UDIV con triángulo, UDV con círculo, UDVI con símbolo rombo, UDVII con símbolo guion y UDVIII con símbolo más). 95

Figura 20. Mapa de localización de datos hidrogeoquímicos validados de la Cuenca Barinas Apure con los principales elementos estructurales e hidrogeografía regional. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. Las líneas de color rojo representan la dirección de los transectos regionales en la Figura 21. a) Mapa con la localización de las muestras de agua con datos hidrogeoquímicos para la Cuenca Barinas Apure b) Mapa con la localización de las muestras de agua con datos hidrogeoquímicos para la Subcuenca de Barinas y c) Mapa con la localización de las muestras de agua con datos hidrogeoquímicos para la Subcuenca de Apure. 97

Figura 21. Transectos regionales de la Cuenca Barinas Apure que muestran los principales elementos estructurales del área y cuáles son los reservorios que pudiera presentar una inclusión de aguas meteóricas desde superficie. a) Transecto NO-SE (modificado de Santiago *et al*., 2014) y b) Transecto NO-SE (tomado de Cordero *et al*., 2006). 99

Figura 22. Grupos de aguas identificados a partir de la cantidad de sólidos disueltos totales (SDT), en mg/L de acuerdo con la clasificación de Hem (1970). a) Gráfico con la concentración SDT (mg/L) de las muestras por intervalo de profundidad y UD: dulce, salobres y salinas. Los colores internos de las barras son el intervalo de profundidad: 0-1.000 pies (azul claro), 6.000-9.000 pies (verde oscuro), 9.000-12.000 pies (fucsia) y 12.000-15.000 pies (naranja). Los colores al borde de las barras son las UD: UDII (verde), UDIV (carne), UDV (naranja), UDVI (marrón) y UDVII (amarillo). b) Gráfico de barras con la proporción de muestras en cada clasificación de (Hem, 1970) por rango de profundidad a la que fue tomada la muestra, c) Mapa con la localización de las muestras d) Zoom del mapa con la localización para la Subcuenca Barinas y e) Zoom del mapa con la localización para la Subcuenca Apure..... 102

Figura 23. Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes para la Cuenca Barinas Apure de la concentración en meq/L de los iones principales en base al rango de profundidad. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). 103

Figura 24. Gráfico de concentraciones en meq/L de cloruro en relación con sulfato de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con los límites descritos en Kharaka y Harnor (2003). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 105

Figura 25. Gráfico de concentraciones en meq/L de sodio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure. La línea continua representa la relación Na^+/Cl^- del agua marina (0,8) y la línea de puntos representa la de aguas equilibradas con halita (Kharaka y Harnor, 2003). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19 107

Figura 26. Gráfico de concentraciones en meq/L de calcio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure, en base a los límites descritos en Kharaka y Harnor (2003). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 108

Figura 27. Gráfico de concentraciones en meq/L de magnesio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con los límites propuestos en De Sousa (2006). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 110

Figura 28. Gráfico de concentraciones en meq/L de cloruro en relación con bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con limites en Custodio y Llamas (1976). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 111

Figura 29. a) Gráfico de concentraciones en meq/L de sodio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure a partir de los valores en Custodio y LLamas (1976) y Vásquez Castro (1998). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19 113

Figura 30. Gráfico de concentraciones en meq/L de calcio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con los rangos de concentración descritos por Custodio y Llamas (1976) y Kharaka y Harnor (2003). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 115

Figura 31. Gráfico de concentraciones en meq/L de magnesio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con los límites propuestos por Custodio y Llamas (1976) y De Sousa (2006). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 116

Figura 32. Gráfico de concentraciones de sulfato con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 118

Figura 33. Gráfico de concentraciones en meq/L de calcio con relación a sulfato de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure. Línea roja con relación 1:1 de los iones, muestras que podrían correlacionarse con la disolución de yeso y/o anhidrita. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 119

Figura 34. Gráfico de concentraciones en meq/L de magnesio con relación a sulfato de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con el límite de agua dulce propuesto para magnesio en Davis y De Wiest (1971). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 121

Figura 35. Gráfico de concentraciones en meq/L de sodio con relación a potasio de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con las concentraciones esperadas sugeridas por De Sousa, (2006), Kharaka & Harnor, (2003) y Vásquez Castro (1998). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 122

Figura 36. Gráficos de concentraciones en meq/L de calcio y magnesio de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 124

Figura 37. a) Mapa con la clasificaciones asignadas para las muestras por iones mayoritarios con su ubicación geográfica, en relación con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Barinas Apure. b) Mapa con la localización de las clasificaciones asignadas para las muestras de agua para la Subcuenca Barinas y c) Mapa con la localización de las clasificaciones asignadas para las muestras de para la Subcuenca Apure..... 126

Figura 38. Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes para la Cuenca Barinas Apure de la concentración en ppm de los iones minoritarios analizados en base a la profundidad desde 0 a 1.000 pies equivalentes a 0 a 300 metros. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). . 127

Figura 39. Grupos de aguas identificados a partir de la concentración de sodio y cloro de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946). (a) Gráfico de correlación Na^+/Cl^- en meq/L que diferencia aguas connatas de meteóricas. (b) Gráfico de barras del número de muestras con aguas connatas y meteóricas por rango de profundidad y la Unidad Depositacional. (c) Mapa con la ubicación geográfica y en relación con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Barinas Apure. En color rojo las aguas connatas y en color azul las aguas meteóricas. d) Grupos de aguas identificados a partir de la concentración de sodio y cloro de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946) para la Subcuenca Barinas y e) Grupos de aguas identificados a partir de la concentración de sodio y cloro de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946) para la Subcuenca Apure. 131

Figura 40. (a) Grupos identificados de acuerdo con la clasificación de Schoeller (1977) en al menos una muestra por campo petrolífero de la Cuenca Barinas Apure. (b) Gráfico de barras del número de muestras en cada clasificación por rango de profundidad y la Unidad Depositacional, (c) Ubicación de las muestras con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Barinas Apure, en relación con los patrones de sus iones mayoritarios: sulfatada sódica (naranja), bicarbonatada magnésica (verde), bicarbonatada sódica (azul claro) y clorurada sódica (rojo). (d) Mapa con la localización de las muestras de agua para la Subcuenca Barinas y (e) Mapa con la localización de las muestras de agua para la Subcuenca Apure. 134

Figura 41. (a)Grupos identificados de acuerdo con la clasificación de Piper (1944) para las muestras de agua de las Cuenca Barinas Apure, distribuidas en los cuatro rombos de la clasificación de Piper: clorurada sódica y potásica o sulfato sódica; bicarbonatada sódica y potásica, clorurada y sulfato cálcica y magnésica, y bicarbonatada cálcico y magnésica. Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. (b) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras y con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Barinas Apure. c) Zoom para la Subcuenca Barinas y d) Zoom para la Subcuenca Apure..... 137

Figura 42. Grupos identificados en la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con la clasificación de Stiff (1951) en el orden de aparición: (a) bicarbonatada sódica (patrón de visto bueno), (b) clorurada magnésica, (c y d) clorurada sódica (patrón de embudo), (e) sulfatada sódica y (f) sulfatada cálcica. (g) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras con relación a la clasificación de Stiff, redes hidrográficas y elementos estructurales de la CBA. h) Mapa con la localización de las muestras de agua para la Subcuenca Barinas e i) Mapa con la localización de las muestras de agua para la Subcuenca Apure. 140

Figura 43. Mapa de localización de datos hidrogeoquímicos validados de la Cuenca Maracaibo Falcón con los principales elementos estructurales e hidrogeografía regional. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 141

Figura 44. Transectos en dirección OE y NS de la Cuenca Maracaibo Falcón para visualizar las profundidades y sedimentos afectados por los elementos estructurales del área; así como las direcciones preferenciales de migración de los fluidos meteóricos (Modificado de Parnoud *et al*., 1994). 142

Figura 45. Grupos de aguas identificados a partir de la cantidad de sólidos disueltos totales (SDT) de acuerdo con la clasificación de Hem (1970). a) Gráfico con la concentración SDT (mg/L) de las muestras por intervalo de profundidad y unidad depositacional: dulce, salobres, salinas y salmueras. Los colores internos muestran la profundidad 0-1.000 pies (azul claro), 1.000-3.000 pies (azul oscuro), 3.000-6.000 pies (verde claro), 6.000-9.000 pies (verde oscuro), 9.000-12.000 pies (fucsia, 12.000-15.000 pies (naranja y 15.000-19.000 pies (rojo). Los colores en el borde son las UD: UDII (verde oscuro), UDIV (carne), UDV (naranja), UDVII (amarillo) y UDVIII (naranja claro) b) Gráfico de barras con la proporción de muestras en cada clasificación de (Hem, 1970) por rango de profundidad UD y c) Mapa con la localización de las muestras. 149

Figura 46. Gráfico *Box Plots* o de cajas y bigotes para la Cuenca Maracaibo Falcón de la concentración en meq/L de los iones principales en base al rango de profundidad de las muestras. a) Concentraciones de elementos mayoritarios hasta 3.500 meq/L. b) Detalle de la figura anterior con concentraciones hasta 1100 meq/L. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). 151

Figura 47. Gráfico de concentraciones en meq/L de sodio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón. La línea continua representa la relación Na^+/Cl^- del agua marina (0,8) y la línea de puntos representa la de aguas equilibradas con halita (Kharaka y Harnor, 2003). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 153

Figura 48. Gráficos de concentraciones de calcio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón, en base a los límites descritos en Kharaka & Harnor (2003). a) escala hasta 3.500 meq/L Cl^- y 1.400 meq/L de Ca^{2+}y, b) escala hasta 400 meq/L Cl^- y 100 meq/L de Ca^{2+}. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 155

Figura 49. Gráficos de concentraciones de magnesio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón, de acuerdo con los límites propuestos en De Sousa (2006). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 158

Figura 50. Gráficos de concentraciones de sulfato con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón, a) escala hasta 3500 meq/L Cl^- y 500 meq/L de SO_4^{2-}y, b) escala hasta 2100 meq/L Cl^- y 30 meq/L de SO_4^{2-}de acuerdo con los límites descritos en Kharaka y Harnor (2003). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 160

Figura 51. Gráficos de concentraciones de bicarbonato con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con las concentraciones sugeridas por Custodio y LLamas (1976). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 162

Figura 52. Gráfico de concentraciones de cloruros en relación con bromuros de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón. La línea de color negro es indicativa de la relación bromuro / cloruro esperado para muestras de agua de mar. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 163

Figura 53. Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón, a partir de los valores en (Custodio y LLamas, 1976 y Vásquez Castro, 1998). a) escala hasta 3.000 meq/L Na^+ y 200 meq/L de HCO_3^-, b) escala hasta 500 meq/L Na^+ y 40meq/L de HCO_3^- y c) sodio alcalino escala hasta 120 meq/L Na^+ y 120 meq/L de HCO_3^- que se refiere a la concentración de sodio remanente sin la cantidad que se podría encontrar en solución con cloruros. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadro de color morado es la muestra de agua de mar. 166

Figura 54. Gráfico de concentraciones de calcio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con los rangos de concentración descritos por (Custodio y LLamas (1976) y Kharaka y Harnor (2003). a) Escala hasta 1200 meq/L Ca^{2+} y 200 meq/L de HCO_3^- y, b) Escala hasta 400 meq/L Ca^{2+} y 30 meq/L de HCO_3^-. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadro de color morado es la muestra de agua de mar. 168

Figura 55. Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Escala hasta 200 meq/L Mg^{2+} y 200 meq/L de HCO_3^-, b) Escala hasta 100 meq/L Mg y 40 meq/L de HCO_3^-de acuerdo con los límites propuestos por (Custodio y LLamas, 1976 y De Sousa, 2006) y c) escala hasta 50 meq/L Mg^{2+} y 50 meq/L de HCO_3^- de las muestras con una relación molar que pudiera relacionarse con disolución de dolomías. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 171

Figura 56. Gráfico de concentraciones de sulfato con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Escala hasta 500 meq/L SO_4^{2-} y 300 meq/L de HCO_3^- y, b) Escala hasta 40 meq/L SO_4^{2-} y 20 meq/L de HCO_3^-. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 172

Figura 57. Gráfico de concentraciones de calcio con relación a sulfato de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Escala hasta 1300 meq/L Ca^{2+} y 100 meq/L de SO_4^{2-}y, b) Escala hasta 50 meq/L Ca^{2+} y 50 meq/L de SO_4^{2-}. Línea roja con relación 1:1 de los iones que podría correlacionarse con la disolución de yeso y/o anhidrita. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadro de color morado es la muestra de agua de mar. 174

Figura 58. Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a sulfato de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con el límite de agua dulce propuesto para magnesio en Davis y De Wiest (1971). a) escala hasta 200 meq/L Mg^{2+} y 500 meq/L de SO_4^{2-}y, b) escala hasta 50 meq/L Mg^{2+} y 50 meq/L de SO_4^{2-}. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadro de color morado es la muestra de agua de mar. 175

Figura 59. Gráfico de concentraciones de potasio con relación a sodio de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con las concentraciones esperadas sugeridas por De Sousa (2006), Kharaka y Harnor (2003) y Vásquez Castro (1998). a) escala 7 meq/L de K^+ y 600 meq/L de Na^+ y b) escala 5meq/L de K^+ y 120meq/L de Na^+. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadro de color morado es la muestra de agua de mar. 177

Figura 60. Gráfico de concentraciones de calcio con relación a magnesio de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con los límites en De Sousa (2006) y Kharaka y Harnor (2003). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadro de color morado es la muestra de agua de mar. 179

Figura 61. Resumen de las características observadas en las relaciones Inter elementales de la Cuenca Maracaibo Falcón con la ubicación geográfica y en relación con las redes hidrográficas y elementos estructurales. En color rojo a naranja las aguas connatas, en color verde las aguas de mezclas y en color azul las aguas dulces. La forma de los símbolos indica el intervalo de profundidad a la cual fue tomada la muestra. 180

Figura 62. Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes para la Cuenca Maracaibo Falcón de la concentración en ppm de los iones minoritarios analizados. a) Gráfico con una escala de 0 a 2000 ppm, b) Gráfico con una escala de 0 a 120 ppm. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). 182

Figura 63. Grupos identificados a partir de la concentración de sodio y cloro de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946). (a) Gráfico de correlación Na^+/Cl^- que diferencia aguas connatas de meteóricas. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. (b) Gráfico de barras del número de muestras connatas y meteóricas por la localización de las muestras de agua con datos hidrogeoquímicos y por Unidad Depositacional. En color rojo las aguas connatas y en color azul las aguas meteóricas, donde el aporte de sodio desde otras fuentes aumenta el valor de la relación y (c) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras y en relación con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Maracaibo Falcón. La forma de los símbolos indica el intervalo de profundidad a la cual fue tomada la muestra. 188

Figura 64. Caracterización de las muestras de agua en la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con Schoeller (1977): (a) Grupos identificados de acuerdo con la clasificación de Schoeller (1977) en al menos una muestra por campo petrolífero de la Cuenca Maracaibo Falcón. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. (b) Gráfico de barras con la frecuencia de cada tipo de patrón por rango de profundidad y UD. Patrones en relación con sus iones mayoritarios: sulfatada sódica (naranja), bicarbonatada magnésica (verde), bicarbonatada sódica (azul claro) y clorurada sódica para la cuenca petrolífera Maracaibo Falcón. (c) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras con relación a la clasificación de Schoeller (1977) y con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Maracaibo Falcón. La forma de los símbolos indica el intervalo de profundidad a la cual fue tomada la muestra. 191

Figura 65. Caracterización de las muestras de agua en la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con Piper (1944): (a) Grupos identificados para las muestras de agua de las Cuenca Maracaibo Falcón, distribuidas en los cuatro rombos de la clasificación de Piper (1944): clorurada sódica y potásica o sulfato sódicas; bicarbonatadas sódicas y potásicas, cloruradas y sulfato cálcicas y magnésicas, y bicarbonatadas cálcico y magnésicas. Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. (b) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras y con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Maracaibo Falcón. 194

Figura 66. Caracterización de las muestras de agua en la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con Stiff (1951): Grupos identificados de acuerdo en el orden de aparición:(a) Aguas bicarbonatadas cálcicas, (b) aguas bicarbonatadas magnésicas, (c) aguas bicarbonatadas sódicas (patrón de visto bueno), (d) aguas cloruradas cálcicas, (e) agua clorurada magnésica, (f) aguas cloruradas sódicas (patrón de embudo), (g) aguas cloruradas sódicas diluida, (h) aguas sulfatadas magnésicas y (i) aguas sulfatadas sódicas. (j) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras con relación con redes hidrográficas y elementos estructurales de la CMF. La forma de los símbolos indica el intervalo de profundidad a la cual fue tomada la muestra. 196

Figura 67. Gráficos de dispersión de $\delta^{18}O$ en relación con $\delta^{2}H$. a) con una escala de +2‰ $\delta^{18}O$ y +20‰ $\delta^{2}H$ y b) con una escala de 0‰ $\delta^{18}O$ y -20‰ $\delta^{2}H$. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. Las líneas en cruz que acompañan a los símbolos son indicativas del rango de error analítico de la muestra. 199

Figura 68. Mapa con la ubicación geográfica de las muestras con dato isotópico en relación con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la CMF. La forma de los símbolos indica el intervalo de profundidad a la cual fue tomada la muestra. 200

Figura 69. Mapa de localización de datos hidrogeoquímicos validados de la Cuenca Oriental con los principales elementos estructurales e hidrogeografía regional. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 201

Figura 70. Transectos en dirección OE y NS de la Cuenca Oriental de Venezuela para visualizar las profundidades y sedimentos afectados por los elementos estructurales del área; así como las direcciones preferenciales de migración de los fluidos meteóricos. Configuración estructural de la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías” (a) Transecto oeste-este; (b) noroeste-sureste (modificados de Parra *et al*., 2018) 204

Figura 71. Grupos de aguas identificados a partir de la cantidad de sólidos disueltos totales (SDT) de acuerdo con la clasificación de Hem (1970) en la cuenca Oriental: a) Gráfico con la concentración SDT (mg/L) de las muestras por intervalo de profundidad y unidad depositacional: dulce, salobres, salinas y salmueras. Los colores internos muestran la profundidad 0-1.000 pies (azul claro), 1.000-3.000 pies (azul oscuro), 3.000-6.000 pies (verde claro), 6.000-9.000 pies (verde oscuro), 9.000-12.000 pies (fucsia, 12.000-15.000 pies (naranja y 15.000-19.000 pies (rojo). Los colores en el borde son las UD: UDII (verde oscuro), UDIV (carne) y UDVIII (naranja claro) b) Mapa con la localización de las muestras. y c) Gráfico de barras con la proporción de muestras en cada clasificación de Hem (1970) por rango de profundidad. 208

Figura 72. Gráfico *Box Plots* o de cajas y bigotes para la Cuenca Oriental de la concentración en meq/L de los iones principales. a) Concentraciones de elementos mayoritarios hasta 7.000 meq/L. b) Detalle de la figura anterior con concentraciones hasta 700 meq/L. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). 210

Figura 73. Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Oriental. La línea continua representa la relación Cl^-/Na^+ del agua marina (0,8) y la línea de puntos representa la de aguas equilibradas con halita (Kharaka y Harnor, 2003). a) Sodio total en meq/L en relación con cloruro en una escala de 0 a 3500 meq/L de sodio y 0 a 6500 meq/L de cloruro b) Sodio total en meq/L en relación con cloruro en una escala de 0 a 1.000meq/L de sodio y 0 a 1.000meq/L de cloruro c) Sodio sin la fracción que posiblemente interacciona con bicarbonato en relación con cloruro en una escala de 0 a 1.000meq/L de sodio y 0 a 1.000meq/L de cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar. 213

Figura 74. Gráficos de concentraciones de calcio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Oriental, en base a los límites descritos en Kharaka & Harnor (2003). a) Gráfico con una escala de 0 a 2500 meq/L de calcio y de 0 a 6.500 meq/L de cloruro b) Gráfico con una escala de 0 a 220 meq/L de calcio y de 0 a 1.200 meq/L de cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar. 215

Figura 75. Gráficos de concentraciones de magnesio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Oriental, de acuerdo con los límites propuestos en De Sousa (2006). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. a) con escala hasta 6500 meq/L Cl y 1100 meq/L de Mg^{2+}b) con escala hasta 1200 meq/L Cl y 180 meq/L de Mg^{2+}y, c) con escala hasta 1200 meq/L Cl y 50 meq/L de Mg^{2+}. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar. 217

Figura 76. Gráficos de concentraciones de sulfato con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Oriental, de acuerdo con los límites descritos en Kharaka y Harnor (2003). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. a) Gráfico con escala hasta 4.000 meq/L Cl^- y 80 meq/L de SO_4^{2-}y, b) Gráfico con escala hasta 1.000meq/L Cl^-y 70 meq/L de SO_4^{2-}. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar. 219

Figura 77. Gráficos de concentraciones de bicarbonato con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Oriental de acuerdo con las concentraciones sugeridas por Custodio y LLamas (1976). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. a) Gráfico con escala hasta 7.000 meq/L de cloruros y 500 meq/L de bicarbonato y b) Gráfico con escala hasta 1200 meq/L de cloruros y 80 meq/L de bicarbonato. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar. 221

Figura 78. Gráfico de concentración de cloruros en relación con bromuros de las muestras de agua de la Cuenca Oriental. La línea de color negro es indicativa de la relación bromuro / cloruro esperado para muestras de agua de mar. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 222

Figura 79. Gráficos de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Oriental a partir de los valores en Custodio y LLamas (1976) y Vásquez Castro (1998): a) Escala hasta 3.500 meq/L Na y 200 meq/L de HCO_3^-, b) Escala hasta 500 meq/L Na y 20meq/L de HCO_3^- y c) concentración de sodio alcalino en una escala hasta 120 meq/L Na y 120meq/L de HCO_3^-, que se refiere a la concentración de sodio remanente sin la cantidad que se podría encontrar en solución con cloruros. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar. 225

Figura 80. Gráfico de concentraciones de calcio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Oriental de acuerdo con los rangos de concentración descritos por Custodio y LLamas (1976) y Kharaka y Harnor (2003). a) escala hasta 6.000meq/L Ca y 400 meq/L de HCO_3^-y, b) escala hasta 200 meq/L Ca y 120 meq/L de HCO_3^-. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar..... 227

Figura 81. Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Oriental. a) escala hasta 200 meq/L Mg^{2+} y 200 meq/L de HCO_3^- y, b) muestras tomadas en una profundidad mayor a 6.000 pies y una escala hasta 60 meq/L Mg^{2+} y 120 meq/L de HCO_3^- de acuerdo con los límites propuestos por Custodio y LLamas (1976) y De Sousa (2006). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar. 229

Figura 82. Gráfico de concentraciones de sulfato con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Oriental. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar. 230

Figura 83. Gráfico de concentraciones de calcio con relación a sulfato de las muestras de agua de la Cuenca Oriental. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. La línea de color rojo es indicativa de una relación molar 1:1 entre calcio y sulfato, que podría correlacionarse con la disolución de yeso y/o anhidrita. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar..... 231

Figura 84. Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a sulfato de las muestras de agua de la Cuenca Oriental, de acuerdo con el límite de agua dulce propuesto para magnesio en (Davis & De Wiest, 1971). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El tipo de símbolos se relacionan con las UD con la cual se podrían asociar las formaciones geológicas: UDII con cuadrado, a la UDIV con triángulo, y UDVIII con más. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar. 233

Figura 85. Gráfico de concentraciones de potasio con relación a sodio de las muestras de agua de la Cuenca Oriental, de acuerdo con las concentraciones esperadas sugeridas por De Sousa (2006) Kharaka y Harnor (2003) y Vásquez Castro (1998). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar. 234

Figura 86. Gráfico de concentraciones de calcio con relación a magnesio de las muestras de agua de la Cuenca Oriental, de acuerdo con Kharaka y Harnor (2003) y De Sousa (2006). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar. 235

Figura 87. Resumen de las características observadas en las relaciones interelementales de la Cuenca Oriental con la ubicación geográfica y en relación con las redes hidrográficas y elementos estructurales. En color rojo a naranja las aguas connatas, en color verde las aguas de mezclas y en color azul las aguas dulces. La forma de los símbolos indica el intervalo de profundidad a la cual fue tomada la muestra. 236

Figura 88. Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes para la Cuenca Oriental de la concentración en mg/L de los iones minoritarios analizados en las muestras de agua. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). a) escala de concentración de 0 a 800 ppm y b) escala de concentración de 0 a 80 ppm. 238

Figura 89. Grupos identificados a partir de la concentración de sodio y cloro de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946). (a) Gráfico de correlación Na^+/Cl^- que diferencia aguas connatas de meteóricas. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. (b) Gráfico de barras del número de muestras de aguas connatas y meteóricas por profundidad y por Unidad Depositacional y (c) Mapa con la ubicación geográfica y en relación con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Oriental de Venezuela. En color rojo las aguas connatas y en color azul las aguas meteóricas, donde el aporte de sodio desde otras fuentes aumenta el valor de la relación. 244

Figura 90. (a) Grupos identificados de acuerdo con la clasificación de Schoeller (1977) en al menos una muestra por campo petrolífero de la Cuenca Oriental. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. (b) Gráfico de barras con la frecuencia de cada tipo de patrón por rango de profundidad y UD. Patrones en relación con sus iones mayoritarios: sulfatada sódica (naranja), bicarbonatada magnésica (verde), bicarbonatada sódica (azul claro) y clorurada sódica para la Cuenca Oriental. (c) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Oriental. 248

Figura 91. Caracterización de las muestras de agua en la Cuenca Oriental de acuerdo con la clasificación de Piper (1944): (a) Grupos identificados, distribuidas en los cuatro rombos de la clasificación de Piper (1944): clorurada sódica y potásica o sulfato sódicas; bicarbonatadas sódicas y potásicas, cloruradas y sulfato cálcicas y magnésicas, y bicarbonatadas cálcico y magnésicas. Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19 y (b) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras con relación a las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Oriental. 250

Figura 92. Grupos identificados de acuerdo con la clasificación de Stiff (1951) para la Cuenca Oriental en el orden de aparición:(a) aguas bicarbonatadas cálcicas, (b) aguas bicarbonatadas magnésicas, (c) aguas bicarbonatadas sódicas, (d) aguas cloruradas cálcicas, (e) aguas cloruradas sódicas, (f) aguas sulfatadas sódicas. (g) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras con relación a las redes hidrográficas y elementos estructurales de la COV. 253

Figura 93. Gráficos de dispersión de $\delta^{18}O$ en relación con $\delta^{2}H$. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.a) escala de -10 a 6‰ $\delta^{18}O$ y de -75 a 45‰ δ^{D} b) escala de -6,5 a -1 ‰ $\delta^{18}O$ y de -40 a 10 ‰ δ^{D}. Las líneas de color negro son indicativas del rango de error analítico de la muestra. 257

Figura 94. a) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras con dato isotópico en relación a las redes hidrográficas y elementos estructurales de la COV b) Mapa con la ubicación geográfica del análisis isotópico en relación a las redes hidrográficas y elementos estructurales de la COV con énfasis en los datos de la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías” y c) Mapa con la ubicación geográfica del análisis isotópico en relación a las redes hidrográficas y elementos estructurales de la COV con énfasis en los datos de la Serranía del Interior Oriental. 259

Figura 95. Gráfico de dispersión de $\delta^{13}C$ con relación a bicarbonato (ppm) manteniendo las agrupaciones realizadas en el gráfico de isótopo de oxígeno con hidrógeno. Las líneas de color negro son indicativas del rango de error analítico de la muestra. El valor de referencia del isotopo de $\delta^{13}C$ para agua de mar se tomó de Kroopnick (1985) y es el cuadro de color morado. 260

Figura 96. Gráfico de dispersión de $\delta^{18}O$ con relación a bicarbonato (ppm) manteniendo las agrupaciones realizadas en el gráfico de isótopo de oxígeno con hidrógeno. Las líneas de color negro son indicativas del rango de error analítico de cada muestra. 261

Figura 97. Gráfico de barra de $\delta^{13}C$ con relación a referencias mundiales (Carothers & Kharaka, 1980) manteniendo las agrupaciones realizadas en el gráfico de isótopo de oxígeno con hidrógeno. 262

Figura 98. Diagrama de columnas con la cantidad de muestras en cada facies hidrogeoquímica en la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con el rango de profundidad en la cual fue tomada la muestra. 266

Figura 99. Caracterización de facies bicarbonatada sódicas en la Cuenca Barinas Apure. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Ubicación de las muestras con un símbolo diferente por intervalo de profundidad en la cual fue tomada. 267

Figura 100. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada sódica en la Cuenca Barinas Apure. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fueron tomadas las muestras de agua M-863, M-864, M-865 y M-866 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-863, M-864, M-865 y M-866 (salobre). 268

Figura 101. Caracterización de facies clorurada y bicarbonatada sódica en la Cuenca Barinas a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Ubicación de las muestras. 270

Figura 102. Caracterización de facies NaCl en la Cuenca Barinas Apure. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Ubicación de las muestras. 272

Figura 103. Caracterización de facies clorurada magnésica en la Cuenca Barinas Apure. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Ubicación de las muestras. 274

Figura 104. Caracterización de facies clorurada y sulfatada sódica en la Cuenca Barinas Apure. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Ubicación de las muestras. 275

Figura 105. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies sulfatada sódica en la Cuenca Barinas Apure. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fueron tomadas las muestras de agua M-32, M-33 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-32, M-33 (salobre). 276

Figura 106. Caracterización de facies sulfatada sódica en la Cuenca Barinas Apure. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Mapa de ubicación de las muestras. 278

Figura 107. Caracterización de facies $CaSO_4$ en la Cuenca Barinas Apure. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Ubicación de las muestras. 280

Figura 108. Diagrama de columnas con la cantidad de muestras en cada facies hidrogeoquímica en la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con el rango de profundidad en la cual fue tomada la muestra. 282

Figura 109. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies connatas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a cloruro. d) Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 286

Figura 110. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica subfacies connatas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-230 (salmuera). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-230 (salmuera). c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-231 (salina). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-231 (salina). 287

Figura 111. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies connatas diluidas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 288

Figura 112.Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica subfacies connatas diluidas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-29 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-29 (salobre). 289

Figura 113. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies dulces con alta SDT en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de sodio alcalino c) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. d) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bromuros. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 290

Figura 114. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies cloruradas sódica subfacies dulces con alta cantidad de sólidos disueltos totales en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-10 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-10 (salobre).c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-644 (salina). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-644 (salina). 291

Figura 115. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies dulces con baja SDT en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 292

Figura 116. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica subfacies dulces con baja cantidad de sólidos disueltos totales en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-731 (dulce). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-731 (dulce). 293

Figura 117. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies mezcla con agua de mar en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de potasio con relación a sodio. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 294

Figura 118. Caracterización de facies cloruradas sódicas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro, b) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato, c) Diagrama de Piper (1944) de las muestras de agua de la facies clorurada sódicas con polígonos de colores diferentes para cada subfacies. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. d) Mapa con la ubicación de las muestras con un símbolo diferente por intervalo de profundidad en la cual fue tomada. 296

Figura 119. Caracterización de facies bicarbonatadas sódica subfacies meteórica en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 298

Figura 120.Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada sódica subfacies meteórica en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-729 (dulce). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-729 (dulce). 299

Figura 121. Caracterización de facies bicarbonatadas sódica subfacies meteórica con intercambio iónico en la Cuenca Maracaibo Falcón: a) Patrón identificado de acuerdo con la clasificación de Stiff (1951) aguas bicarbonatadas sódicas (patrón de visto bueno) enriquecido en calcio b) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 300

Figura 122.Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada sódica subfacies meteórica con intercambio iónico en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-79 (dulce). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-79 (dulce). 301

Figura 123. Caracterización de facies bicarbonatadas sódica subfacies dulces con SDT de media a alta en la Cuenca Maracaibo Falcón: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 302

Figura 124. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada sódica subfacies dulce con cantidad de sólido disueltos media a alta en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-163 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-163 (salobre).c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-932 (salina). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-932 (salina). 303

Figura 125. Caracterización de facies bicarbonatadas sódica subfacies mezcla en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Patrón identificado de acuerdo con la clasificación de (Stiff, 1951) aguas bicarbonatadas sódicas (patrón de visto bueno) enriquecido en cloruro b) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). 305

Figura 126.Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada sódica subfacies mezcla en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-651 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-651 (salobre). 306

Figura 127. Caracterización de facies bicarbonatadas sódica subfacies connatas muy diluidas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 307

Figura 128.Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada sódica subfacies connata muy diluida en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-939 (salina). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-939 (salina). 308

Figura 129. Caracterización de facies bicarbonatadas sódicas en la Cuenca Maracaibo Falcón: a) Gráfico de concentraciones de sodio alcalino con relación a bicarbonato. b) Diagrama de Piper (1944) de las muestras de agua de la facies clorurada cálcica. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. c) Ubicación de las muestras con un símbolo diferente por intervalo de profundidad en la cual fue tomada. 310

Figura 130. Caracterización de facies sulfatadas sódicas en la Cuenca Maracaibo Falcón: a) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a magnesio. b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a sulfato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. c) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). d) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. e) Mapa con la ubicación de las muestras. 313

Figura 131. Caracterización de facies cloruradas cálcica en la Cuenca Maracaibo Falcón: a) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. b) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). c) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. d) Mapa con la ubicación de las muestras. 316

Figura 132.Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada cálcica en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-11 (salmuera). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-11 (salmuera). 317

Figura 133. Caracterización de facies bicarbonatadas cálcicas en la Cuenca Maracaibo Falcón: a) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. b) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). c) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. y d) Mapa de la ubicación de las muestras. 319

Figura 134. Caracterización de facies cloruradas magnésica en la Cuenca Maracaibo Falcón: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. c) Mapa de la ubicación de las muestras..... 321

Figura 135. Caracterización de facies bicarbonatada magnésica en la Cuenca Maracaibo Falcón: a) Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. b) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). c) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L y d) Mapa de ubicación de las muestras..... 324

Figura 136.Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada magnésica en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-723 (dulce). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-723 (dulce). 325

Figura 137. Diagrama de columnas con la cantidad de muestras en cada facies hidrogeoquímica en la Cuenca Oriental de Venezuela de acuerdo con el rango de profundidad en la cual fue tomada la muestra..... 327

Figura 138. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies mezcla con agua de mar en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. d) Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a sulfato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19..... 333

Figura 139. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies connatas en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. d) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bromuro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19..... 334

Figura 140. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica en la subfacies connata de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-17 (salmuera). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-17 (salmuera). c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-85 (salina). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-85 (salina). 335

Figura 141. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies connatas diluidas en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. c) Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a cloruro. d) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 337

Figura 142. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica en la subfacies connata diluida de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-81 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-81 (salobre). c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-69 (salina). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-69 (salina). 338

Figura 143. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies connatas evolucionadas en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a bicarbonato. d) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bromuro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 340

Figura 144. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica en la subfacies connata evolucionada de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-24 (salina). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-24 (salina). 340

Figura 145. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies mezcla en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 342

Figura 146. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica en la subfacies mezcla de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-80 (salina). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-80 (salina). c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-636 (salobre). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-636 (salobre). 343

Figura 147. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies connatas muy diluidas en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. d) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bromuro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 345

Figura 148. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica en la subfacies connata muy diluida de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-746 (salina). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-746 (salina) 346

Figura 149. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies de intercambio iónico en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. d) Gráfico de concentraciones de sodio alcalino con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 347

Figura 150. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica en la subfacies de intercambio iónico de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-113 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-113 (salobre). c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-916 (salina). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-916 (salina). 348

Figura 151. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies connatas muy diluidas con SDT bajo en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 349

Figura 152. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica en la subfacies connata de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-667 (dulce). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-667 (dulce). c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-333 (salina). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-333 (salina). 351

Figura 153. Caracterización de facies cloruradas sódicas en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico de concentraciones de sodio alcalino con relación a bicarbonato, b) Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a bicarbonato. c) Diagrama de (Piper, 1944) con polígonos de colores diferentes para cada subfacies. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. d) Mapa de ubicación de las muestras en esta facies con un símbolo diferente por intervalo de profundidad en la cual fue tomada. 353

Figura 154. Caracterización de facies bicarbonatada sódica subfacies meteórica en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 354

Figura 155. Caracterización de facies bicarbonatada sódica subfacies meteórica con intercambio iónico en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 356

Figura 156. Caracterización de facies bicarbonatada sódica subfacies dulce con cantidad de sólidos disueltos de media a alta en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato, c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato. d) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 357

Figura 157. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada sódica en la subfacies dulce con SDT medio a alto de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-66 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-66 (salobre). c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-992 (salina). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-992 (salina). 358

Figura 158. Caracterización de facies bicarbonatada sódica subfacies mezclas en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. d) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 359

Figura 159. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la bicarbonatada sódica subfacies mezclas de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-65 (salobres). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-65 (salobres). 360

Figura 160. Caracterización de facies bicarbonatada sódica subfacies mezcla con cantidad de sólidos disueltos media a alta en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. 361

Figura 161. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada sódica subfacies mezcla con cantidad de sólidos disueltos media a alta de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-940 (salina). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-940 (salina). 362

Figura 162. Caracterización de facies bicarbonatada sódicas en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. b) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. c) Mapa de ubicación de las muestras. 364

Figura 163. Caracterización de facies sulfatadas sódicas en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a magnesio. b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a sulfato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. c) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). d) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L y e) Ubicación de las muestras. 366

Figura 164. Caracterización de facies cloruradas cálcicas en la Cuenca Oriental: a) Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a bicarbonato b) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. c) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). d) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. e) Mapa de ubicación de las muestras. 369

Figura 165. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada cálcica de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-18 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-18 (salobre). c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-665 (salina). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-665 (salina). e) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-84 (salmuera). f) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-84 (salmuera). 371

Figura 166. Caracterización de facies bicarbonatadas cálcicas en la Cuenca Oriental: a) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. b) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). c) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. d) Mapa con la ubicación de las muestras. 374

Figura 167. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada cálcica de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-692 (dulce). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-692 (dulce). 375

Figura 168. Caracterización de facies bicarbonatada magnésica en la Cuenca Oriental: a) Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. b) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). c) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. d) Mapa con la ubicación de las muestras. 377

Figura 169. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada magnésica de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-327 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-327 (salobre). 378

Figura 170. Rangos de temperatura de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con las temperaturas medidas y/o estimadas. 383

Figura 171. Rangos de temperatura de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con las temperaturas medidas y/o estimadas 384

Figura 172. Rangos de temperatura de las muestras de agua de la Cuenca Oriental de acuerdo con las temperaturas medidas y/o estimadas 385

Figura 173. Condiciones posibles para la interacción agua roca en equilibrio con el CO_2 Tomado de (García Villanueva, 2023) 388

Figura 174. Gráficos de barras con las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el escenario 7 del caso 1 de la simulación fisicoquímica de aguas bicarbonatadas sódicas a 15.000 pies. Las barras de color amarillo son las concentraciones resultantes. Las barras de color verde representan la concentración actual de una muestra bicarbonatada sódica a 15.000 pies (M-863) en la Cuenca Barinas Apure. Las barras de color azul corresponden a una muestra bicarbonatada sódica dulce. 390

Figura 175. Gráfico de barras para el escenario 3 del caso 2 de simulación fisicoquímica de aguas cloruradas sódicas con SDT dulce, con el ejemplo para la Cuenca Oriental de Venezuela. Las barras de color rojo representan la concentración actual de una muestra connata o de formación en la Cuenca Oriental de Venezuela (M-586). Las barras de color azul representan la concentración actual de una muestra meteórica en la Cuenca Oriental de Venezuela (M-985). Las barras de color verde (M-742) representan la concentración actual de una muestra clorurada sódica con SDT inferior a 1000 ppm en la Cuenca Oriental de Venezuela. a) cantidad de sólidos disueltos totales en ppm que incluye las muestras M-985 y M-586 y las barras de SDT resultante de los distintos porcentajes de mezcla entre ellas, desde 10 al 90% de cada una y b) concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios que incluye las muestras M-985 y M-586, la mezcla 10/90% (color lila) resultante del escenario 3 y la muestra de referencia M-742. 392

Figura 176. Gráfico de barras de las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el escenario 2 del caso 3 de simulación fisicoquímica de aguas cloruradas sódicas en el continente. Las barras de color verde representan la concentración actual de una muestra clorurada sódica en la Cuenca Maracaibo Falcón (M-469). La barra de color azul representa la concentración actual de una muestra bicarbonatada sódica con SDT inferior a 1.000 ppm en la Cuenca Maracaibo Falcón (M-402). Las barras de color rojo representan la concentración del Lago de Maracaibo (M-22). Las barras con rayas moradas son el resultado de la concentración una mezcla hipotética en un porcentaje 90/10. 393

Figura 177. Gráfico de barras de las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el escenario 2 del caso 4 de simulación fisicoquímica de aguas sulfatadas sódicas. Las barras de color amarillo son el resultado de la simulación con un proceso de mezcla entre aguas clorurada sódicas y aguas meteóricas. Las barras de color verde pertenecen a la muestra de referencia (M-76). Las barras de color rojo y vinotinto son de la muestra M-75 clorurada sódica inicial y luego de la simulación de IS=0 para dolomita. Las barras de color azul son del agua meteórica tomada de la base de datos de PHREEQC..... 395

Figura 178. Gráfico de barras con las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el escenario 2 del caso 5 de simulación fisicoquímica de aguas potásicas. Las barras de color verde representan una muestra actual con alto contenido de potasio (M-46). Las barras de color amarillo son el resultado de la simulación. Las barras de color rojo pertenecen a la muestra clorurada sódica utilizada (M-895)..... 396

Figura 179. Gráfico de dispersión en Collins (1975) con la concentración de cloro (g/L) y la concentración de potasio (mg/L) de las muestras de referencia y los resultados de las simulaciones, con referencia de la curva de evaporación..... 397

Figura 180. Gráfico de barras para las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el escenario 4 del caso 6 de simulación fisicoquímica de aguas cloruradas cálcicas. La barra de color verde se refiere a una muestra clorurada cálcica (M-850). La muestra clorurada sódica (M-61), presenta barras de color rojo. Las barras de color naranja son el resultado de la simulación de precipitación de calcita y dolomita cuyos IS>0 para la muestra M-61. Las barras de color amarillo son el resultado de la simulación de un intercambio iónico en un medio arcilloso. 398

Figura 181. Gráfico de barras de las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el escenario 4 del caso 7 de simulación fisicoquímica de aguas cloruradas magnésicas. La barra de color verde se refiere a una muestra clorurada magnésica (M-846). Las barras de color amarillo se refieren a una muestra simulada con intercambio catiónico desde la muestra M-406. Las barras de color rojo con rayas se refieren a una muestra simulada con intercambio catiónico desde la muestra M-82. Las barras de color rojo son las concentraciones de las muestras cloruradas sódicas M-406 y M-82. Y las barras de color lila son las concentraciones de una muestra sulfatada magnésica (M-640). 400

Figura 182. Gráfico de barras de las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el escenario 4 del caso 8 de simulación fisicoquímica de aguas bicarbonatadas cálcicas. Las barras de color verde se refieren a una muestra bicarbonatadas cálcicas (M-994). Las barras en color azul son referentes de la concentración de la muestra de origen bicarbonatada sódica (M-993) y las barras de color amarillo son el resultado de la simulación integrada. 401

Figura 183. Gráfico de barras con las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el escenario 4 del caso 9 de simulación fisicoquímica de aguas bicarbonatadas magnésicas. Las barras de color verde claro se refieren a una muestra bicarbonatada magnésica (M-723). Las barras de color verde oscuro se refieren a una muestra de agua clorurada magnésica (M-429) y las barras de color azul se refieren a una muestra de agua bicarbonatada sódica (M-725). Las barras de color amarillo son el resultado de las simulaciones fisicoquímicas. 403

Figura 184. Facies hidrogeoquímicas caracterizadas en el área de la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías", donde se pueden identificar muestras con salinidades inferiores en intervalos más profundos. 404

Figura 185. Límites de superficies de inundación regionales de los eventos de depositación asociados a las Unidades Depositacionales de la tectonosecuencia 3 en la Cuenca Oriental de Venezuela y áreas levantadas estructuralmente de acuerdo con mapas gravimétricos, donde se pudieran acumular las aguas fósiles. 405

Figura 186. Gráfico de barras de las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el caso 10 de simulación fisicoquímica de aguas con salinidades menores en función de la profundidad. a) escenario 1, desde la muestra de referencia bicarbonatada sódica (M-312) identificada con las barras de color verde, donde: las barras de color azul son de una muestra $NaHCO_3$ salobre (M-798), las barras de color rojo son de una muestra NaCl salmuera (M-319) y las barras de color azul claro son el resultado de la mezcla con posterior disolución de dolomita y precipitación de yeso; b) escenario 1, desde una muestra de referencia clorurada sódica (M-316) identificada con las barras de color verde, donde: las barras de color azul son de una muestra $NaHCO_3$ (M-818), las barras de color rojo son de una muestra NaCl salmuera (M-239) y las barras de color rosado claro son el resultado del proceso de mezcla con posterior disolución de dolomita y precipitación de yeso y c) escenario 2, donde: las barras de color azul son de una muestra $NaHCO_3$ (M-818) y las barras de color morado son el resultado de la simulación con un intercambio iónico con halita, dolomita, yeso y calcita. 406

Figura 187. Diagramas radiales del índice de saturación máximo para las facies hidrogeoquímicas con las condiciones fisicoquímicas favorables para la precipitación de los minerales carbonáticos: aragonito, dolomita y/o calcita en la Cuenca Barinas Apure. a) índice de saturación de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a su temperatura. b) índice de saturación de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas de 25, 50, 100 y 150°C. 410

Figura 188. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales carbonáticos: calcita, dolomita y/o aragonito es superior a cero, indicando condiciones favorables para la precipitación en un modelo estático de especiación de las facies hidrogeoquímicas caracterizadas en la Cuenca Barinas Apure. a) Distribución por intervalo estratigráfico. b) Distribución de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C y temperatura de la muestra. 411

Figura 189. Diagramas radiales del índice de saturación máximo para las facies hidrogeoquímicas con las condiciones fisicoquímicas favorables para la precipitación del mineral anhidrita en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) índice de saturación de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a la temperatura medida y/o estimada. b) índice de saturación de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C. 414

Figura 190. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales anhidrita y/o yeso es superior a cero indicando condiciones favorables para la precipitación en un modelo estático de especiación de las facies hidrogeoquímicas caracterizadas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Distribución por intervalo estratigráfico. b) Distribución de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C y temperatura de la muestra. 415

Figura 191. Diagramas radiales del índice de saturación máximo para las facies hidrogeoquímicas en la Cuenca de Maracaibo Falcón con las condiciones fisicoquímicas favorables para la precipitación del mineral aragonito, dolomita y/o calcita, de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a su temperatura. a) Muestras de aguas tomadas entre 0 y 6.000 pies. b) Muestras de aguas tomadas entre 6.000 y 19.000 pies 418

Figura 192. Diagramas radiales del índice de saturación máximo para las facies hidrogeoquímicas con las condiciones fisicoquímicas favorables para la precipitación del mineral aragonito, dolomita y/o calcita, de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C. a) Muestras de aguas tomadas entre 0 y 6.000 pies. b) Muestras de aguas tomadas entre 6.000 y 19.000 pies. 420

Figura 193. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales carbonáticos: calcita, dolomita y/o aragonito es superior a cero indicando condiciones favorables para la precipitación en un modelo estático de especiación de las facies hidrogeoquímicas caracterizadas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Distribución por intervalo estratigráfico. b) Distribución de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C y temperatura de la muestra. 421

Figura 194. Diagramas de columnas del índice de saturación máximo para las facies hidrogeoquímicas con las condiciones fisicoquímicas favorables para la precipitación de las fases minerales de hierro en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) índice de saturación de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a su temperatura. b) índice de saturación de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C. 423

Figura 195. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales de hierro es superior a cero indicando condiciones favorables para la precipitación en un modelo estático de especiación de las facies hidrogeoquímicas caracterizadas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Distribución por intervalo estratigráfico. b) Distribución de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C y temperatura de la muestra. 424

Figura 196. Diagramas de columnas del índice de saturación máximo para las facies hidrogeoquímicas con las condiciones fisicoquímicas favorables para la precipitación del mineral anhidrita en la Cuenca Oriental. a) índice de saturación de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a su temperatura. b) índice de saturación de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 100 y 150°C. 426

Figura 197. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales anhidrita y/o yeso es superior a cero indicando condiciones favorables para la precipitación en un modelo estático de especiación de las facies hidrogeoquímicas caracterizadas en la Cuenca Oriental. a) Distribución por intervalo estratigráfico. b) Distribución de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C y temperatura de la muestra. 427

Figura 198. Diagramas radiales del índice de saturación máximo para las facies hidrogeoquímicas en la Cuenca Oriental con las condiciones fisicoquímicas favorables para la precipitación del mineral aragonito, dolomita y/o calcita, de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a su temperatura. a) Muestras de aguas tomadas entre 0 y 9.000 pies. b) Muestras de aguas tomadas entre 9.000 y 19.000 pies. 430

Figura 199. Diagramas radiales del índice de saturación máximo para las facies hidrogeoquímicas con las condiciones fisicoquímicas favorables para la precipitación del mineral aragonito, dolomita y/o calcita, de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C. a) Muestras de aguas tomadas entre 0 y 9.000 pies. b) Muestras de aguas tomadas entre 9.000 y 19.000 pies. 432

Figura 200. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales carbonáticos calcita, dolomita y/o aragonito es superior a cero indicando condiciones favorables para la precipitación en un modelo estático de especiación de las facies hidrogeoquímicas caracterizadas en la Cuenca Oriental. a) Distribución por intervalo estratigráfico. b) Distribución de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C y temperatura de la muestra. 433

Figura 201. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a minerales carbonáticos en la Cuenca Barinas Apure. 436

Figura 202. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a minerales ricos en sulfatos en la Cuenca Barinas Apure. 437

Figura 203. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a halita en la Cuenca Barinas Apure. 438

Figura 204. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a pirita en la Cuenca Barinas Apure. 439

Figura 205. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a minerales carbonáticos en la Cuenca Maracaibo Falcón. 440

Figura 206. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a minerales ricos en sulfatos en la Cuenca Maracaibo Falcón. 442

Figura 207. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a pirita en la Cuenca Maracaibo Falcón. 443

Figura 208. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a halita en la Cuenca Oriental de Venezuela. 444

Figura 209. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a minerales carbonáticos en la Cuenca Oriental de Venezuela. 445

Figura 210. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a minerales ricos en sulfatos en la Cuenca Oriental de Venezuela. 446

Figura 211. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a halita en la Cuenca Oriental de Venezuela. 447

Figura 212. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a pirita en la Cuenca Oriental de Venezuela. 448

Figura 213. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales es superior a cero luego de la exposición a lodo tipo salmuera en la Cuenca Barinas Apure. a) Minerales carbonáticos como calcita, dolomita y/o aragonito, b) Minerales de arcillas. Relación del riesgo de taponamiento en la producción de pozos petroleros. 450

Figura 214. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación es superior a cero luego de la exposición a aguas meteóricas en la Cuenca Barinas Apure. a) Minerales carbonáticos como calcita, dolomita y/o aragonito, b) Minerales de arcillas. Relación del riesgo de taponamiento en la producción de pozos petroleros. 451

Figura 215. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación es superior a cero luego de la exposición a lodo tipo salmuera en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) minerales carbonáticos como calcita, dolomita y/o aragonito, b) minerales de arcillas y c) minerales sulfatados..... 454

Figura 216. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación es superior a cero luego de la exposición a aguas meteóricas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) minerales carbonáticos como calcita, dolomita y/o aragonito, b) minerales de arcillas c) minerales sulfatados. Relación del riesgo de taponamiento en la producción de pozos petroleros. 456

Figura 217. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, o arcillas es superior a cero luego de la exposición a lodo tipo salmuera en la Cuenca Oriental de Venezuela. a) minerales carbonáticos como calcita, dolomita y/o aragonito, b) minerales de arcillas. Relación del riesgo de taponamiento en la producción de pozos petroleros. 457

Figura 218. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, o arcillas es superior a cero luego de la exposición a aguas meteóricas en la Cuenca Oriental de Venezuela. a) minerales carbonáticos como calcita, dolomita y/o aragonito, b) minerales de arcillas y c) minerales sulfatados. Relación del riesgo de taponamiento en la producción de pozos petroleros. 459

Figura 219. Cromatograma tipo en crudos con bajo nivel de biodegradación en el punto geográfico de la muestra M-46 (Toro, 1998). 464

Figura 220. Cromatograma tipo en crudos de mayor biodegradación mene Aguas Calientes (Olivares, 2006) 464

Figura 221. Posibles polígonos de riesgo para biodegradación y/o lavado por aguas en la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con la distribución de las muestras de agua con capacidad para alterar los hidrocarburos. 466

Figura 222. Posibles polígonos de riesgo para biodegradación y/o lavado por aguas en la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con la distribución de las muestras de agua con capacidad para alterar los hidrocarburos. 468

Figura 223. Análisis cromatográficos de muestras de crudo en la Cuenca Oriental con escalas diferentes de biodegradación a) Escala de biodegradación 0-1, fragmentograma m/z=99 de una muestra de crudo en la Cuenca Oriental de Venezuela donde se muestran las señales de los alcanos (NC), pristano (P), fitano (F) e isoprenoides (IP) (Talukdar, 2007) característico de fluidos no biodegradados b) Escala de biodegradación 1-2, cromatograma de crudo total en la Cuenca Oriental de Venezuela (Stoufer *et al*., 1996) característicos de fluidos con biodegradación c) Escala de biodegradación 1 a 4, fragmentograma m/z=99 donde se muestran las señales de los alcanos (NC), pristano (P), fitano (F) e isoprenoides (IP) (tomado de Talukdar, 2007) d) Escala de biodegradación 4-5, cromatograma C_{15}^{+} de una muestra de mene en la Cuenca Oriental (INTEVEP, 2014) e) Escala de biodegradación 5-6, fragmentograma de m/z=99 característico de fluidos con alta biodegradación (tomado de Talukdar, 2007). 470

Figura 224. Posibles polígonos de riesgo para biodegradación y/o lavado por aguas en la Cuenca Oriental de acuerdo con la distribución de las muestras de agua con capacidad para alterar los hidrocarburos. 472

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Constantes utilizadas para los valores A, B y C de la fórmula empírica de equilibrio para determinar factor de fraccionamiento (Majoube, 1971). 74

Tabla 2. Constante producto de solubilidad (K_{ps}) de los principales minerales comunes en la superficie a temperaturas específicas (en °C). eq= reacción en equilibrio, aq=acuso, s=sólido. ... 80

Tabla 3. Capacidad de intercambio iónico reportado en Appelo y Postma (2005) para los minerales de arcilla más comunes. 81

Tabla 4. Datos de humedad relativa en las localidades más cercanas a los puntos de muestras isotópicas disponibles según INAMEH (2024)..... 89

Tabla 5. Resumen de la estimación de la línea de evaporación local (LLML) para la Cuenca de Maracaibo y Cuenca Oriental de Venezuela, en base a la información disponible. 92

Tabla 6. Puntos de la curva utilizados para la línea de mezcla entre agua meteórica (agua de lluvia) y agua de mar. 93

Tabla 7. Identificación de los iones mayoritarios que se pueden aportar en el intercambio iónico entre roca y agua en la Cuenca Barinas Apure (++): debe aportar presencia en el medio (+): posiblemente aporta presencia al medio y (-): no aporta presencia al medio. 98

Tabla 8. Resumen de las muestras con datos hidrogeoquímicos disponible por ion mayoritario y por rango de profundidad en el cual fue tomada la muestra en la Cuenca Barinas Apure..... 103

Tabla 9. Resumen de las muestras con datos hidrogeoquímicos disponible por ion minoritario y por rango de profundidad (pies) en el cual fue tomada la muestra en la Cuenca Barinas Apure..... 127

Tabla 10. Identificación de los iones mayoritarios que pueden aportarse en el intercambio iónico entre roca y agua en la Cuenca Maracaibo Falcón (++): debe aportar presencia en el medio (+): posiblemente aporta presencia al medio y (-): no aporta presencia al medio 144

Tabla 11. Resumen de las muestras con datos hidrogeoquímicos disponible por ion mayoritario y por rango de profundidad en el cual fue tomada la muestra en la Cuenca Maracaibo Falcón. 150

Tabla 12. Resumen de la relación molar Na^+/Cl^- en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad..... 152

Tabla 13. Resumen de la relación molar Ca^{2+}/Cl^- en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad..... 154

Tabla 14. Resumen de la relación molar Mg^{2+}/Cl^- en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad..... 157

Tabla 15. Resumen de la relación molar SO_4^{2-}/Cl^- en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad en base a los límites en Kharaka y Harnor (2003)..... 159

Tabla 16. Resumen de la relación molar Cl^-/HCO_3^- en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad..... 161

Tabla 17. Resumen de la relación molar Na/HCO_3^- en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad..... 164

Tabla 18. Resumen de la relación molar Ca^{2+}/HCO_3^- en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad..... 167

Tabla 19. Resumen de la relación molar Mg^{2+}/HCO_3^- en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad. 169

Tabla 20. Resumen de la relación molar Ca^{2+}/SO_4^{2-} en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad..... 173

Tabla 21. Resumen de la relación molar K^+/Na^+ en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad..... 176

Tabla 22. Resumen de la relación molar Mg^{+2}/Ca^{+2}en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad..... 178

Tabla 23. Resumen del número de muestras con datos hidrogeoquímicos disponible por ion minoritario y por rango de profundidad en el cual fue tomada la muestra en la Cuenca Maracaibo Falcón..... 181

Tabla 24. Identificación de los iones mayoritarios que se pueden aportar en el intercambio iónico entre roca y agua en la Cuenca Oriental (++): debe aportar presencia en el medio (+): posiblemente aporta presencia al medio y (-): no aporta presencia al medio. 201

Tabla 25. Resumen de las muestras con datos hidrogeoquímicos disponible por ion mayoritario y por rango de profundidad en el cual fue tomada la muestra en la Cuenca Oriental..... 208

Tabla 26. Resumen de la relación molar Na^+/Cl^- en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad..... 211

Tabla 27. Resumen de la relación molar Ca/Cl en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad..... 214

Tabla 28. Resumen de la relación molar Mg^{2+}/Cl^- en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad..... 216

Tabla 29. Resumen de la relación molar SO_4^{2-}/Cl^- en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad..... 218

Tabla 30. Resumen de la relación molar Cl^-/HCO_3^- en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad..... 220

Tabla 31. Resumen de la relación molar Na^+/HCO_3^- en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad..... 223

Tabla 32. Resumen de la relación molar Ca^{2+}/HCO_3^- en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad..... 225

Tabla 33. Resumen de la relación molar Mg^{2+}/HCO_3^- en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad..... 227

Tabla 34. Resumen de la relación molar Ca^{2+}/SO_4^{2-} en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad..... 230

Tabla 35. Resumen de la relación molar Mg^{2+}/SO_4^{2-} en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad..... 232

Tabla 36. Resumen de la relación molar K^+/Na^+ en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad..... 233

Tabla 37. Resumen de la relación molar Mg^{+2}/Ca^{+2} en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad..... 235

Tabla 38. Resumen de las muestras con datos hidrogeoquímicos disponible por ion minoritario y por rango de profundidad en el cual fue tomada la muestra en la Cuenca Oriental..... 237

Tabla 39. Resumen de las muestras con datos hidrogeoquímicos disponible de sílice en la Cuenca Oriental de acuerdo su rango de concentración. Baja concentración de sílice <5 ppm; concentración de sílice intermedia de 5 a 30 ppm; alta concentración de sílice 30-60 ppm; muy alta concentración de sílice 60-300 ppm; extremadamente alta concentración de sílice >300 ppm. 240

Tabla 40. Resumen de las características de las facies hidrogeoquímicas en base a la caracterización hidrogeoquímico en la Cuenca Barinas Apure: NaCl: Facies Clorurada sódicas, $NaCl/SO_4$: Facies cloruradas y sulfatadas sódicas, Na_2SO_4: Facies sulfatadas sódicas; CaSO4: Facies sulfatadas cálcicas; KCl: Facies cloruradas potásicas; $MgCl_2$: Facies cloruradas magnésicas; $NaHCO_3$: Facies bicarbonatadas sódicas; $NaCl/HCO_3$: Facies cloruradas y bicarbonatadas sódicas. 265

Tabla 41. Resumen de las clasificaciones utilizadas en la caracterización hidrogeoquímica para la identificación de las facies hidrogeoquímicas en la Cuenca Maracaibo Falcón: NaCl: Facies Clorurada sódicas, $CaCl_2$: Facies Clorurada cálcica; $MgCl_2$: Facies Clorurada magnésica; SO_4: Facies sulfatadas; $NaHCO_3$: Facies bicarbonatadas sódicas; $CaHCO_3$: Facies bicarbonatadas cálcica; $MgHCO_3$: Facies bicarbonatadas magnésica. 283

Tabla 42. Resumen de las clasificaciones utilizadas en la caracterización hidrogeoquímica para la identificación de las facies hidrogeoquímicas en la Cuenca Oriental: NaCl: Facies Clorurada sódicas, $CaCl_2$: Facies Clorurada cálcica; Na_2SO_4: Facies sulfatadas sódica; $NaHCO_3$: Facies bicarbonatadas sódicas; $Ca(HCO_3)_2$: Facies bicarbonatadas cálcica; $Mg(HCO_3)_2$: Facies bicarbonatadas magnésica. 328

Tabla 43. Resumen de las simulaciones fisicoquímicas realizadas para comprender los procesos hidrogeoquímicos que pueden estar ocurriendo en las facies identificadas en las cuencas. CBA: Cuenca Barinas Apure, CMF: Cuenca Maracaibo Falcón y COV: Cuenca Oriental de Venezuela. En los procesos simulados, el *ítem* en negro indica aquel más congruente. 387

Tabla 44. Resumen de los resultados de las simulaciones considerando procesos de mezcla con aguas meteóricas o lodo de perforación tipo salmuera, a fin de identificar la posible precipitación de minerales accesorios. Las muestras en los paréntesis corresponden a las soluciones base utilizadas como extremos (*end-members*) en la simulación termodinámica en PHREEQC..... 460

Capítulo I
Introducción

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El agua (H_2O), está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, tiene una movilidad específica que la distribuye entre la atmósfera y la litósfera e incluye lo que se conoce como el ciclo hidrológico. El agua puede encontrarse en los ríos, en los océanos, en el suelo, por la superficie y debajo de la superficie, conocida como aguas subterráneas, a través de una serie de procesos como la transpiración, la precipitación, la evaporación y la infiltración (Figura 1, Bowen, 1986). La característica natural del agua es interaccionar con el medio por el cual se encuentra y cambiar su composición de elementos mayoritarios y minoritarios adicionales al hidrógeno y el oxígeno. Asimismo, cada uno de los procesos por los cuales se moviliza de un lugar a otro produce un fraccionamiento isotópico diferente (Back y Hanshaw, 1965). Al final, cada muestra de agua presenta una composición específica y distintiva que permite asociarla a su ubicación en el ciclo hidrológico y al contexto geológico en el cual interacciona.

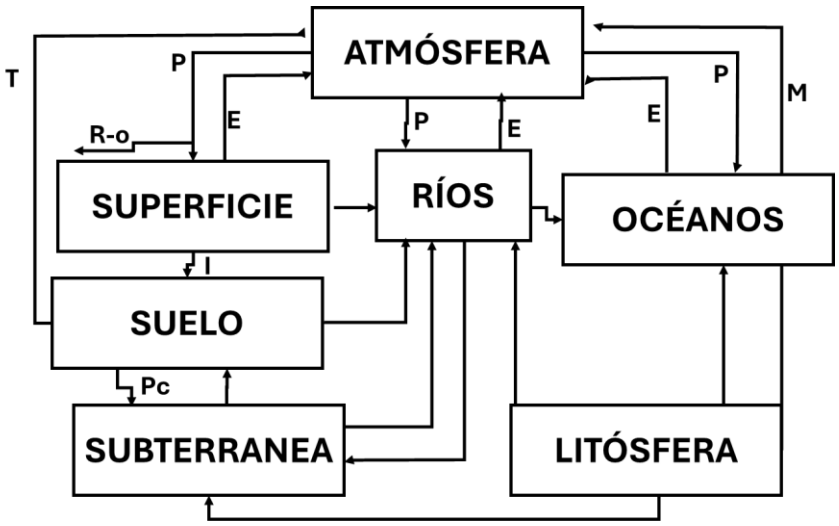


Figura 1. Esquema del ciclo hidrológico entre la atmósfera y la litósfera considerando los procesos que conlleva el paso de un lugar a otro. M: Origen magmático T: Transpiración P: Precipitación E: Evaporación I: Infiltración Pc: Percolación R-o Agua de escorrentía (traducida de Bowen, 1986)

Los tipos de muestras de aguas descritos en la bibliografía son aguas meteóricas, aguas de mar, aguas connatas y aguas magmáticas o juveniles (Back y Hanshaw, 1965; Bowen, 1986 y Clark, 2015). Las aguas meteóricas ocurren cerca de la superficie y son causadas por la infiltración del agua de lluvia, su salinidad es muy baja y usualmente son ácidas producto de la disolución del dióxido de carbono de la atmósfera. Las aguas connatas tienen un alto tiempo de residencia y se consideran aquellos restos de agua, normalmente de mar, atrapados durante la sedimentación, que se encuentran en equilibrio con la roca previo a la perforación de un pozo; y que por tanto ya

cambiaron su composición respecto al agua original. Finalmente, las aguas juveniles son principalmente de origen magmático (Back y Hanshaw, 1965). En general, en la naturaleza se encuentran mezclas de agua y los análisis químicos se enfocan en determinar su origen (Selley y Sonnenberg, 2023).

Los análisis más comunes realizados a las muestras de agua son los análisis fisicoquímicos de elementos mayoritarios, minoritarios y trazas y los análisis isotópicos (Phillips y Castro, 2003). Las muestras pueden tomarse en cualquier momento del ciclo hidrológico y deben validarse a través de un balance iónico. Algunos de los resultados utilizados para la caracterización son análisis interelementales de cationes y aniones, diagrama de Piper, figuras de Stiff y diagramas isotópicos con referencias de las líneas meteóricas mundiales. Adicionalmente, existen programas que permiten simular las interacciones roca-fluido de forma abierta o cerrada para determinar la composición y los tiempos de ocurrencia de distintas muestras de aguas, con el objetivo de entender la presencia o la coexistencia de las muestras de aguas analizadas, tales como WATEQ (Truesdell y Jones, 1974) y PHREEQC (Parkhurst *et al*., 1982).

En diferentes países como Estados Unidos, Canadá y Rusia también han aplicado investigaciones en hidrogeoquímica relacionadas con estudios petroleros, con más de 120 publicaciones entre 2010 y 2023 (ej. Novikov, 2017 y Zhang *et al*., 2014) utilizando programas especializados para aplicaciones en la industria petrolera y/o en otras ramas como la geotecnia (Morán Ramírez, 2000).

El análisis de los patrones hidrogeoquímicos, en los 144 años de actividad petrolera en Venezuela, han fortalecido los estudios regionales y locales de exploración y producción (Angulo, 2021). La identificación de rutas de migración de fluidos o la detección de elementos estructurales como fallas geológicas que no funcionan como barreras laterales de los yacimientos; entre otros, han permitido señalar acumulaciones de crudo y áreas de posible alteración post-entrampamiento (PDVSA, s.f.). En dos cuencas concretas, la de Maracaibo en el NO, y la Oriental de Venezuela, en el centro y este del país, se han obtenido resultados concretos importantes mediante el análisis de aguas superficiales y profundas (Angulo, 2016).

Venezuela es el país con más reservas de petróleo en el mundo. La Organización de Países Exportadores de Petróleo (2022) en su boletín anual del año 2022 reporta 303.468.000 millones de barriles de petróleo y 5.541 billones de metros cúbicos de gas natural en reservas probadas de Venezuela. Las mayores reservas se ubican en la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías” y pertenecen a reservorios someros. Los hidrocarburos tienen gravedad API<=10º, clasificados con crudo pesado y extrapesado y descritos como crudo espumoso o *“foaming oil*” que incluyen agua en su estructura.

Hipótesis

En base a los estudios previos y modelos regionales, se establecieron premisas sobre los resultados a obtener. Las hipótesis son:

1- Coexisten aguas meteóricas y aguas connatas en los distintos estratos sedimentarios. Esto suele ser más notables hacia las grandes cordilleras de Venezuela como los Andes Venezolanos y la Serranía del Interior Oriental.

2- Concurren facies hidrogeoquímicas de origen meteórico en las cuencas petrolíferas de Venezuela, que pueden haber afectado la estructura liviana de los hidrocarburos.

3- Existen iones mayoritarios, minoritarios y trazas como sulfatos y bicarbonatos con un índice de saturación cercano a la precipitación. La precipitación de ciertos minerales en el yacimiento puede ser contraproducentes para el correcto desarrollo de un pozo de petróleo.

4- Los rasgos estructurales de mayor escala actúan como barreras naturales de los sistemas hidrodinámicos activos que no permiten su acceso a los reservorios que se encuentran en el lado opuesto al área de recarga.

En consecuencia, el objetivo propuesto para esta investigación es realizar una caracterización hidrogeoquímica a nivel de país, con la finalidad de caracterizar las distribuciones de las aguas terrestres en los distintos niveles estratigráficos.

Los objetivos específicos planteados son:

1- Conocer la presencia, composición y distribución de muestras de aguas en las principales cuencas petrolíferas de Venezuela.

2- Correlacionar la composición química de las muestras de agua con los principales elementos estructurales y la mineralogía de las rocas.

3- Simular los procesos fisicoquímicos que generaron las agrupaciones hidrogeoquímicas en las principales cuencas petrolíferas del país.

El desarrollo de esta investigación trae consigo una serie de productos que pueden ser utilizados en áreas de exploración y producción de los recursos petrolíferos y gasíferos de PDVSA, a escala regional y local. Se destacan:

- Catálogo de facies hidrogeoquímicas para la comparación con nuevos datos.

- Base de datos validada y robusta de datos hidrogeoquímicos para su futuro uso en los estudios geoquímicos, petrofísicos y de yacimientos.
- Mejores prácticas en el análisis de los datos de muestras de agua e innovaciones en el uso de modelados fisicoquímicos.
- Fortalecimiento profesional con las herramientas y pericia necesaria para la transferencia de conocimiento en el área de hidrogeoquímica de exploración de hidrocarburos de PDVSA.

Capítulo II
Marco Geológico e Hidrogeológico de Venezuela

CAPÍTULO II. MARCO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DE VENEZUELA

El contexto geológico bajo el cual se enmarcó la investigación será desglosado en tres apartados, comenzando por el más general el Marco Geológico de Venezuela, teniendo en cuenta las secuencias tectónicas en el continente; siguiendo con la descripción de los sistemas petrolíferos de las cuencas Barinas Apure, Subcuenca de Guárico y Cuenca Oriental de Venezuela, y finalizando con la descripción de las características hidrográficas de Venezuela.

II. 1. Marco Geológico de Venezuela (*onshore*)

La historia geológica de Venezuela puede diferenciarse en tres episodios tectónicos o tres tectonosecuencias, denominadas de más antiguo a más joven como T1, T2 y T3, que se originaron a partir de la formación y separación de los supercontinentes dentro del contexto de la tectónica global. La tectonosecuencia T1 se formó durante el ciclo supercontinental de Rodinia, que ocurrió entre los períodos Esténico-Ediacárico de la era Proterozoico. La evidencia en Venezuela de esta tectonosecuencia es la unidad litodémica UL1, ubicada al sur. La tectonosecuencia T2 se produjo durante el ciclo supercontinental de Pannotia, que se inició en el período Ediacárico de la era Proterozoico y finalizó en el período Cámbrico de la era Fanerozoico. En Venezuela, está presente con la unidad depositacional UD0, perforada en el área de la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías" (Parra *et al*., 2018).

Finalmente, la tectonosecuencia T3 se desarrolló durante el ciclo supercontinental de Pangea, que comenzó en el Pérmico-Jurásico y continua hasta el presente. Esta tectonosecuencia dentro de Venezuela contiene al menos 8 unidades depositacionales denominadas como: 1) UDI, formada durante la fase de apertura continental en el Jurásico Tardío; 2) UDII, desarrollada durante la fase de margen pasivo en el intervalo Barremiense (Cretácico Temprano) – Oligoceno; 3) UDIII, generada durante la fase de margen activo (colisión Cordillera Oriental de Colombia) en la época del Paleoceno; 4) UDIV, generada durante la fase de margen activo (colisión de la Placa Caribe) en el Eoceno Medio – Plioceno; 5) UDV, generada durante la fase de margen activo (colisión Cordillera Oriental de Colombia y Cordillera de Perijá) durante el Eoceno Tardío - Oligoceno; 6) UDVI, generado durante la fase de margen activo (colisión cordillera Oriental de Colombia) en la época del Oligoceno - Mioceno Temprano; 7) UDVII, formada durante la fase de margen activo (colisión del Arco de Panamá) en el intervalo de edad desde la época del Mioceno Medio - Reciente asociada con el levantamiento de la Cordillera de Los Andes de Mérida; 8) UDVIII, generada durante la fase de margen activo (cambio en la dirección de colisión de la Placa Caribe) en la época del Mioceno

Tardío-Reciente y se caracteriza por la formación del *Foredeep* de Amacuro (Parra *et al*., 2018; Santiago *et al*., 2014 y Santiago *et al*., 2015).

Por ejemplo, los cuadros de las Figura 2 y Figura 3 corresponden a los equivalentes formacionales de cada una de las unidades depositacionales según la cuenca sedimentaria a la cual pertenece, en la Cuenca Barinas Apure (Figura 2) y Oriental de Venezuela (Figura 3). La Unidad Depositacional UDII (color verde y parte del naranja claro), está conformada en la Cuenca Barinas por formaciones geológicas como Navay y Escandalosa y en la Cuenca Oriental de Venezuela por formaciones geológicas como Querecual y Vidoño.

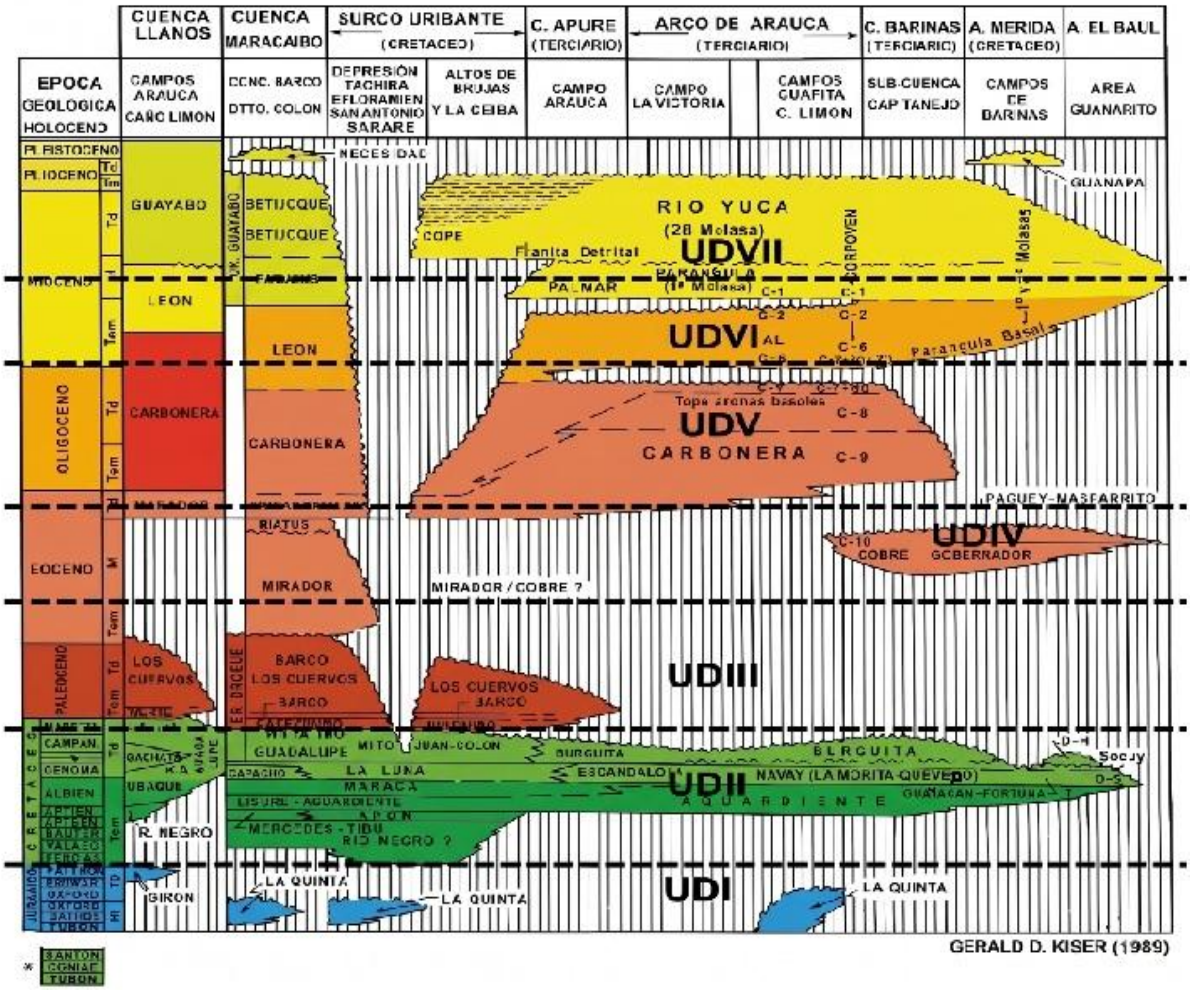


Figura 2. Cuadros de correlación bioestratigráfica de la cuencas Barinas Apure con el objetivo de correlacionar las unidades depositacionales y los eventos tectónicos de orden mayor con las formaciones litológicas que han sido descritas en el Léxico Estratigráfico de Venezuela (Modificado de Ministerio de Energia y Minas, 1997).

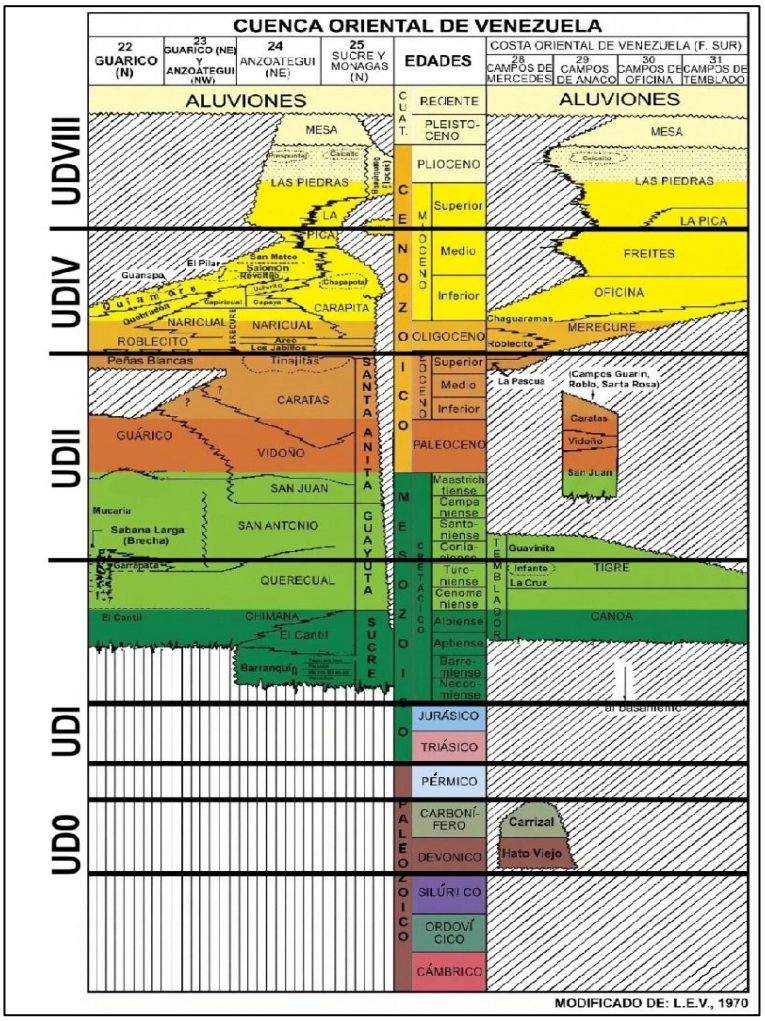


Figura 3. Cuadros de correlación bioestratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela con el objetivo de correlacionar las unidades depositacionales y los eventos tectónicos de orden mayor con las formaciones litológicas que han sido descritas en el Léxico Estratigráfico de Venezuela (Modificado de Ministerio de Energía y Minas, 1997).

Las formaciones geológicas representadas en las Figura 2 y Figura 3 son las unidades reservorios que contienen las muestras de agua que serán analizadas en esta investigación y es por ello por lo que se detallan a continuación por edad geológica las principales características mineralógicas y del ambiente de formación que les dio lugar.

- UD0: Las formaciones geológicas asociadas son Carrizal y Hato Viejo. Las litologías predominantes de estas formaciones son areniscas ligeramente calcáreas a feldespáticas,

piríticas y micáceas con arcilitas y capas de limolita. Estas formaciones geológicas fueron depositadas en ambientes continentales próximo costero a marino nerítico (Angulo *et al*., 2016).

- UDI: La formación geológica asociada es La Quinta. Las litologías predominantes son conglomerados y limolitas de color rojizo con granos que indican una baja madurez física y química. Esta formación geológica fue depositada en ambientes de planicie aluvial (Guerra y González, 2002).

- UDII: Está compuesta por las siguientes formaciones geológicas: Canoa, Tigre, Chimana, San Antonio, Querecual, San Juan, Vidoño, Caratas, Navay, La Luna, Mito Juan, Maraca, Aguardiente, Escandalosa, Grupo Temblador, Apón, Lisure y Colón. Esta unidad define un sistema de extensión litosférica con cambios paleobatimétricos desde continentales, transicionales a batiales; por tanto, la litología predominante de estas formaciones varía desde mayormente areniscas de una alta madurez química con aporte de minerales pesados del escudo de Guayana, hacia zonas de mezcla de areniscas y lutitas, lutitas calcáreas depositadas en ambientes euxínicos ricos en azufre (Parra *et al*., 2018).

- UDIII: Las formaciones geológicas asociadas son Barco, Marcelina y Los Cuervos. Las litologías predominantes son limolitas con mezclas de areniscas y limolitas y con una aparición constante de capas de carbón, compuestas por minerales feldespáticos y cuarzosos, con presencia de azufre en los carbones. Estas formaciones fueron depositadas en ambientes de llanuras fluvio-deltaicas (Martínez *et al*., 2005).

- UDIV: Está integrada por las formaciones geológicas Merecure, Roblecito, Misoa, La Pascua, Chaguaramas, Castillo, Naricual, Carapita, Oficina, La Rosa, Santa Barbara, Capaya, Mirador, Cobre, Gobernador y Paguey. La unidad define un sistema de cuencas tipo *foredeep* de oeste a este de Venezuela, con cambios paleobatimétricos desde continentales, transicionales a batiales, con fuentes de aporte cercana producidas por el levantamiento de altos estructurales cercanos. La litología predominante de estas formaciones varía desde mayormente areniscas, de madurez química variable, hacia zonas de mezcla de areniscas y lutitas, altos espesores de lutitas sobrepresurizadas, en los que se observa minerales como cuarzo, feldespatos, pirita, magnetita, micas moscovitas, glauconitas y siderita (Escalante *et al*., 2011). Las condiciones de sedimentación son cambiantes en base a la relación aporte/espacio de depositación.

- UDV: Las formaciones geológicas asociadas son Carbonera, Arauca, Paují y la sección superior de Mirador. Las litologías predominantes son lutitas y carbones, compuestas por minerales de arcilla, siliciclásticos, pirita y carbón. La Formación Mirador fue depositada en un ambiente fluvial, pertenecientes a depósitos de meandros y canales entrelazados y la Formación

Carbonera fue sedimentada en ambientes de llanura deltaica y llanura de inundación (Azpiritxaga y Casas, 1989).

- UDVI: Las formaciones geológicas asociadas son León, Guafita y el Miembro Guardulio. La litología predominante de esta formación es lutítica, compuesta por minerales arcillosos depositada según el autor en ambientes lacustres o marinos (Montero y Martínez, 2014).

- UDVII: Las formaciones geológicas asociadas son La Yuca, Lagunillas, La Puerta, Los Ranchos, Rio Negro y Parángula. Las litologías predominantes son areniscas arcósicas de color rosado a rojo, con una baja madurez química y textural, y lutitas arcillosas y limosas. Hay presentes minerales como hematita, magnetita, chert, caolinita, ilita y clorita. Estas formaciones fueron depositadas en ambientes fluviales, aluviales y coluviales (Escalante *et al*., 2011).

- UDVIII: Las formaciones geológicas asociadas son Mesa, Agua Clara, Cauderalito, Cerro Pelado, El Milagro, Freites, La Vela, Socorro, Urumaco y Las Piedras. Las litologías predominantes son clásticos gruesos con cementos de material ferruginoso y lentes de arcillas dispersos. En particular para la Formación Las Piedras pueden encontrarse intervalos carbonosos y ricos en materia orgánica o calizas arenosas. Estas formaciones fueron depositadas en ambientes paleofluviales para la Formación Mesa y sistemas de lagunas y barreras costeras en la Formación Las Piedras (Moscardelli y Lorente, 2002).

La deformación asociada a las tectonosecuencias T1-T3 (Figura 4) generó estructuras jerárquicas: i) mega fallas transcurrentes (ej.: Boconó, Oca-Ancón), ii) pliegues de propagación por falla (anticlinales asimétricos), y iii) fracturas de escala métrica (Santiago *et al*., 2014). Hacia el margen sur del Mar Caribe se encuentra un límite transformante entre la Placa Caribe y sur América con la presencia de las fallas transcurrentes El Pilar, Oca-Acón y Boconó (González *et al*., 2018). A su vez se tiene el periodo de levantamiento de la sección NO de América del sur producto de la colisión con el Arco de Panamá que produce una colisión oblicua de las fallas nombradas previamente. Hacia el margen, líneas de sobrecorrimientos como lo son los corrimientos de Pirital y Anaco, que generan múltiples homoclinales de bajo ángulo de buzamiento, definidas como fallas de relevo de las fallas transcurrentes de oeste a este con una dirección noroeste-sureste con un comportamiento inverso en sentido norte-sur (Méndez *et al*., 1996, Figura 4). Como punto relevante la Falla de Anaco además es el elemento estructural que separa la Subcuenca de Maturín y la Subcuenca de Guárico.

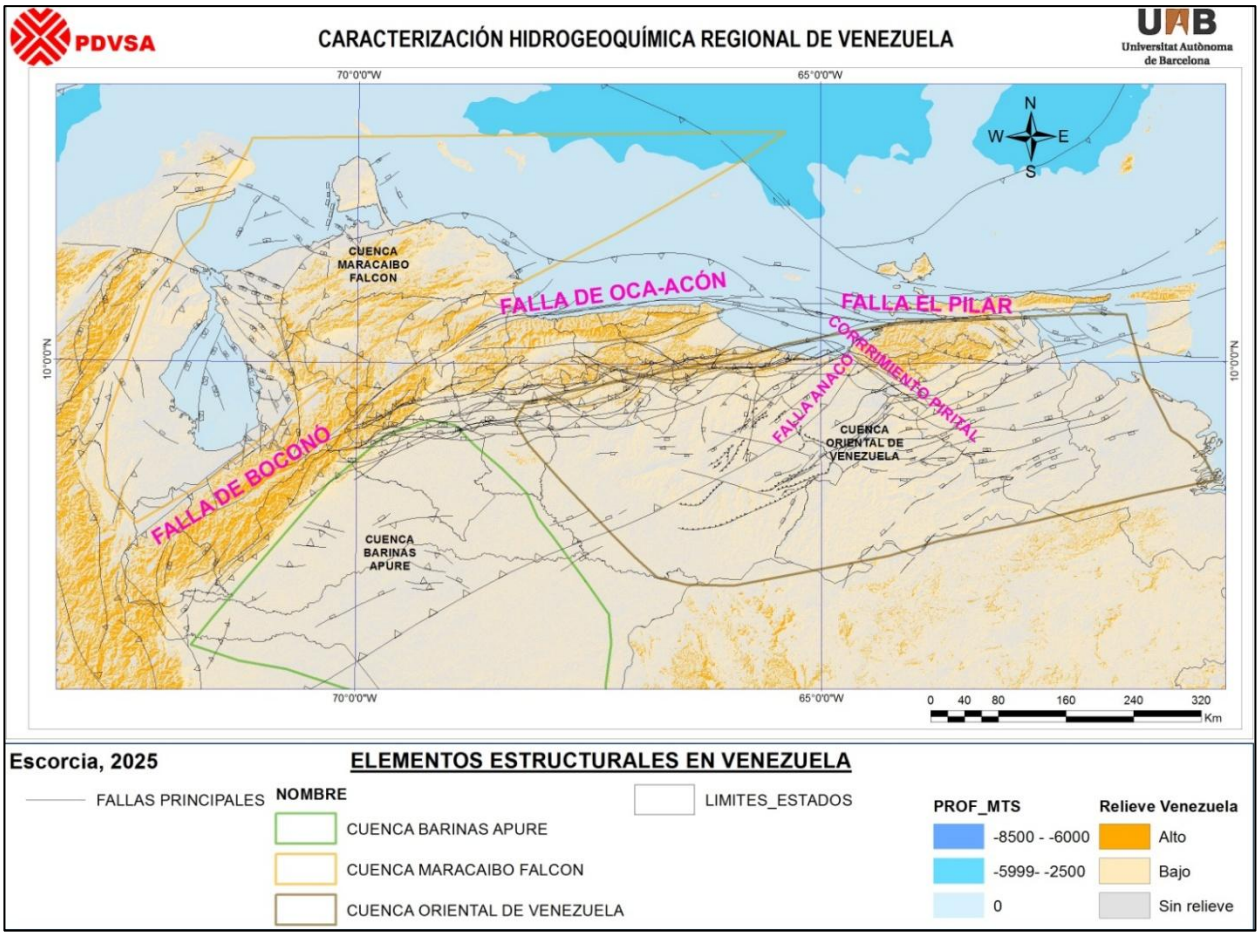


Figura 4. Rasgos estructurales principales de Venezuela hoy en día, producto de los eventos compresivos, extensivos y transcurrentes que han ocurrido durante las tectonosecuencias T1, T2 y T3 del marco geológico de Venezuela, con los nombres de las principales fallas. Tomado de (González *et al*., 2018).

II. 2. Cuenca hidrográfica de Venezuela

Venezuela es un país con recursos hidrográficos abundantes, constituidos por más de 12 ríos principales (en total superiores a 1.000), lagos, mares y océanos (Figura 5). Geográficamente, el río con mayor caudal es el Río Orinoco, desarrollado desde el comienzo de la tectonosecuencia 3 (Anderson *et al*., 2016). El cauce del Río Orinoco se orienta de oeste a este en el borde limítrofe de las unidades litodémicas del Macizo de Guayana, con la formación de un delta que desemboca en el Océano Atlántico, al este, y con un transporte de los depósitos sedimentarios desde el área central al norte de Venezuela (Castillo, 2010). Es importante resaltar que gran parte del petróleo acumulado de Venezuela se encuentra ubicado en la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías”, la cual colinda directamente con el Río Orinoco y por tanto sirve de fuente permeable para los ríos tributarios en el área.

Los principales manantiales se encuentran en la Cordillera de los Andes, en el occidente (dirección suroeste-noreste), y las cordilleras al norte de Venezuela asociadas al emplazamiento de la Placa

Caribe. Los principales lagos son el Lago de Maracaibo, de fuente salobre, y el Lago de Valencia, de agua dulce. Los ríos ubicados al norte de las cordilleras al norte de Venezuela desembocan en el Mar Caribe.

El ciclo hidrológico incluye los procesos de evaporación, precipitación, infiltración, condensación y transpiración. En el balance hídrico no sólo se puede considerar escorrentía sino las posibles salidas y entradas al sistema. En primer lugar, el clima de Venezuela es variable según la región, desde clima de montaña hasta climas áridos o climas de humedales; además, los niveles de precipitación y de evaporación y transpiración son cambiantes.

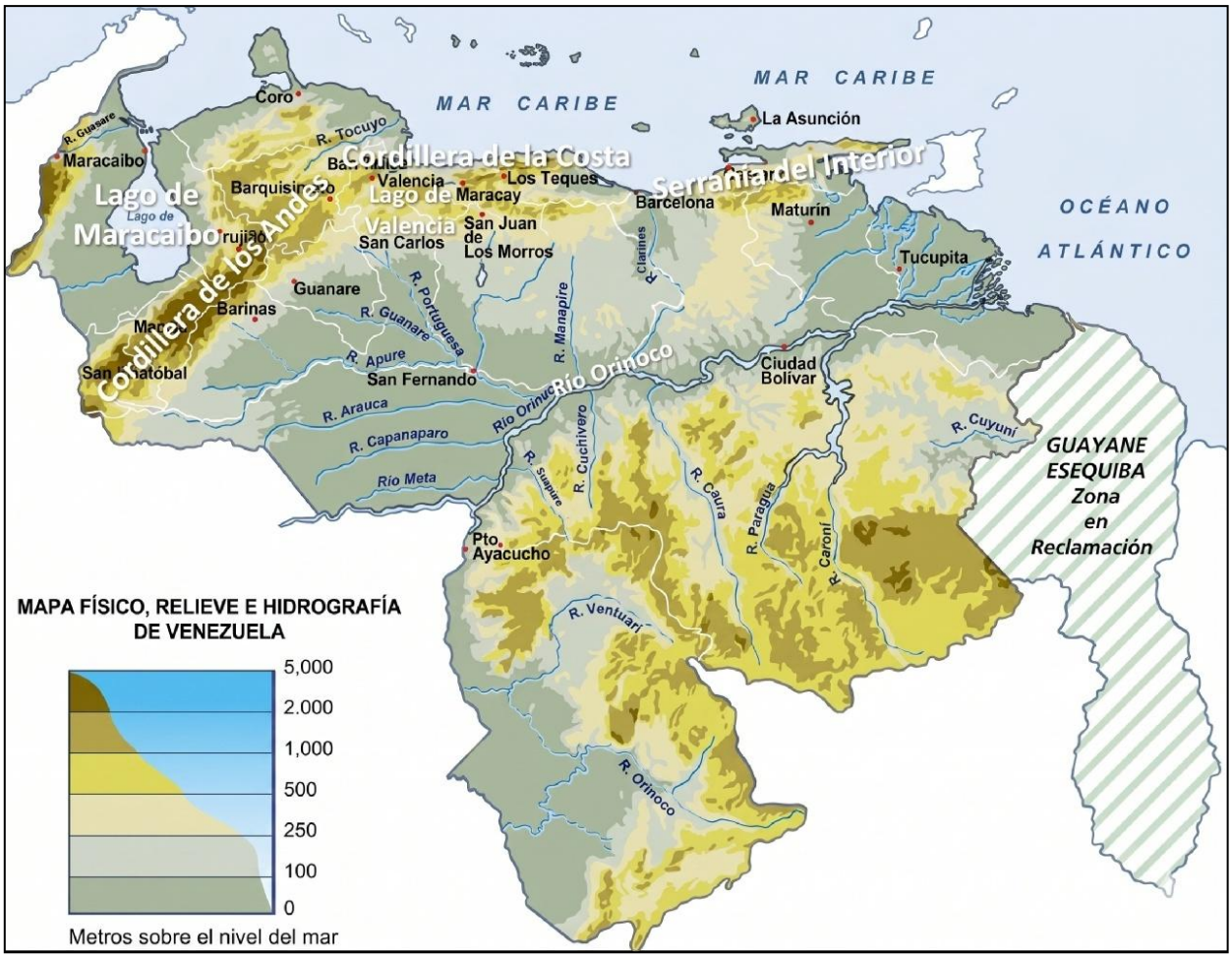


Figura 5. Mapa físico, relieve e hidrografía de Venezuela resaltando los principales elementos topográficos de interés para la investigación (Modificado de Castillo, 2010).

En un estudio puntual dentro de la Cuenca Oriental de Venezuela, en la Mesa de Guanipa, Santos (1974) señala clima de sabana. La vegetación es semiárida de arbustos chaparros y pastos, con excepción de los morichales donde la vegetación es abundante y existen áreas cenagosas. Las áreas de precipitación se ubican hacia el Alto Apure y el Delta del Orinoco. La estación lluviosa es

de mayo a octubre, con una precipitación media anual entre 800 y 1200 mm, con un bajo contenido de gases disueltos, y la estación seca de noviembre a abril, con una tasa de evaporación de 2013 mm.

Las cuencas hidrográficas de agua meteórica en el área son comúnmente no confinadas y se encuentran asociadas a las "mesas" (divisorias de aguas), con cauces intermitentes hacia las partes altas con descargas medias de 0,5 a 3,60 m^3/s, que luego discurren hacia las planicies con el aporte de otras cuencas y pueden llegar hasta 7,9 m^3/s. Los acuíferos profundos se consideran de poca movilidad y extracción, considerando que los pozos petroleros en el área han mantenido sus condiciones estáticas y presiones internas (Santos, 1974).

La Formación Mesa (Figura 3) y los sedimentos cuaternarios almacenan aguas meteóricas y funcionan como fuente de aporte para formaciones inferiores. La Formación Las Piedras contiene los acuíferos más estables hidráulicamente; la Formación Freites es considerado un medio impermeable; sin embargo, contiene lentes de arena con recursos hídricos importantes. La Formación Oficina (Figura 3) no contiene acuíferos conocidos o estables más que hacia sus secciones aflorantes (Santos, 1974).

En el Lago de Maracaibo, de acuerdo con el Instituto para el Control y Conservación del Lago de Maracaibo (ICLAM) para el año 1994, tiene un promedio de flujo de ingreso anual de 1604 m^3/s proveniente de los ríos en el área y un flujo de 543 m^3/s producto de la precipitación sobre el lago. La evaporación promedio anual es de 634 m^3/s y el flujo promedio de descarga anual por el estrecho es de 1513 m^3/s (Angulo *et al*., 2016).

II. 3. Contexto hidrogeoquímico

II. 3. 1 Cuenca de Maracaibo

La arquitectura estratigráfica y el estilo estructural de la secuencia del Cenozoico reflejan el control ejercido por la evolución tectónica del sistema andino. Conforme a los modelos de (Mora *et al*., 2010), los pulsos compresivos y el consecuente levantamiento de las zonas subandinas controlaron no solo la subsidencia flexural y el espacio de acomodación para las unidades de reservorio, sino que alteraron drásticamente los gradientes hidrodinámicos regionales. Esta dinámica tectónica impulsó la reorganización de los sistemas de drenaje continentales y favoreció eventos de recarga meteórica profunda en las cuencas de antepaís.

Las aguas subterráneas de esta cuenca fueron estudiadas por (Angulo, 2016), quien definió en la Cuenca de Maracaibo acuíferos someros, asociados a material cuaternario, y acuíferos más profundos, relacionados con aguas connatas. Registró una diferencia geoquímica también: hacia el

NE de la cuenca, donde predominan aguas bicarbonatadas, que se mezclan hacia el oeste con aguas cloruradas y se observan aguas acetadas asociados a los yacimientos petrolíferos en el área. La presencia de acuíferos profundos fue asimismo caracterizada mediante el análisis de los métodos de transporte de solutos considerando altos tiempos de residencia y un modelo de transporte tipo pistón por el mismo autor.

Adicionalmente, Angulo *et al*. (2016) identificaron límites de concentración para aguas saturadas en carbonatos con temperaturas de yacimiento de 120°C mediante simulaciones con el *software* PHREEQC, resultado que permitió establecer áreas sensibles a la precipitación de carbonatos que obstruyan las formaciones geológicas durante las perforaciones petrolíferas. Asimismo, utilizaron el *software* NCCS data para el análisis geoestadístico de conglomerados en elementos mayoritarios que permitió discretizar las muestras en tres subgrupos: aguas salobres con altas concentraciones de acetato, aguas intermedias con mayor contenido de cloruro que de bicarbonatos y aguas cloruradas de altas salinidades.

II. 3. 2 Cuenca Oriental de Venezuela

El modelo hidrodinámico en las formaciones depositadas en las épocas del Mioceno y el Plioceno de esta cuenca fue descrito por Santos (1974). Este autor consideró que estuvo controlado al norte por la formación y creación del relieve de la Serranía del Interior Oriental y por los paleoaltos ubicados al oeste, siendo la dirección de descarga preferencial hacia el Río Orinoco y en menor medida hacia el Delta del Orinoco, con removilizaciones de aguas connatas profundas a estratos superiores y con aportes de agua meteórica que continúan en dirección norte-sur hacia el Río Orinoco (Figura 6, ej. Angulo *et al*., 2016). Más recientemente, los elementos estructurales del Emplazamiento de Pirital y de Furrial interrumpieron la continuidad de los acuíferos más profundos disminuyendo el aporte de acuíferos norte-sur.

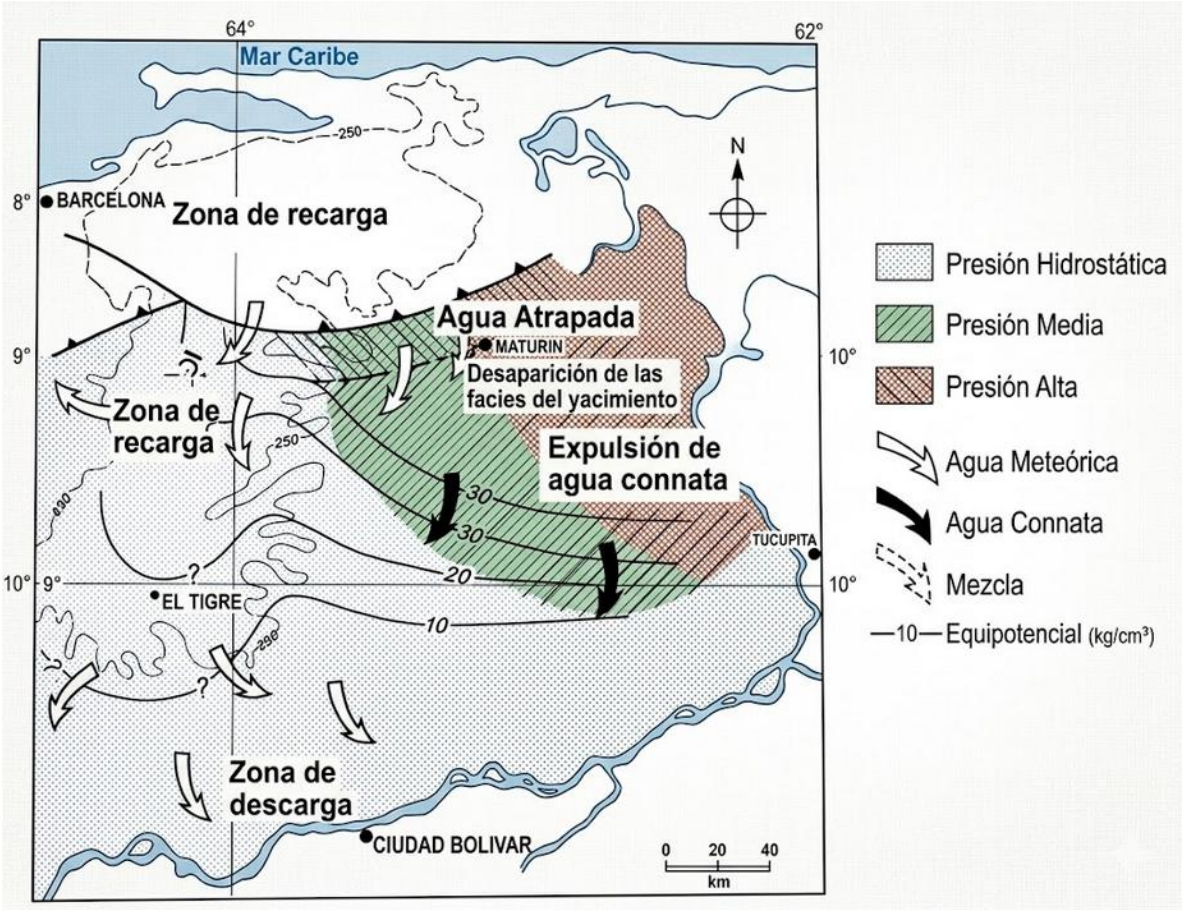


Figura 6. Patrón de recarga de aguas meteóricas y aguas connatas en la Subcuenca de Maturín para mostrar la dirección preferencial de recarga y descarga del agua meteórica (Modificado de Angulo *et al*., 2016).

La determinación de facies hidrogeoquímicas detectó la presencia de aguas meteóricas, aguas connatas y de aguas mezcla: 1) meteórica de diferentes orígenes, direcciones y grado de influencia sobre la litología de los cuerpos de arenas y crudos; 2) connata de aguas profundas, con migración vertical y cuya mayor influencia es hacia el oeste de la cuenca, y 3) aguas connatas-meteóricas en dirección suroeste, definiendo barreras de concentración en esta misma dirección (Méndez *et al*., 1996).

En específico para la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías”, existen estudios como Angulo *et al*. (2016), en el cual se determinaron 2 hidrofacies a partir de una aplicación matemática (MVPS): hidrofacies de origen marino (Na-Cl), mezcladas en proporciones distintas con agua meteórica (Na-HCO_3) con bajos tiempos de residencia, que permiten aún la conservación de la hidrofacies aguas connatas. Barreto (2017) realizó un modelo hidrogeoquímico en el cual identifica: grupo I, aguas presentes en los yacimientos, previo a la migración del crudo con características de aguas connatas; grupo II, aguas alóctonas diagenéticas, provenientes del empuje norte-sur en

mayores profundidades que migró junto con los hidrocarburos; grupo III, producto de un proceso biogeoquímico dentro del yacimiento en la interacción crudo/agua coadyuvado por la presencia de bacterias metanogénicas, con características salinas y ricas en metano y materia orgánica; y el grupo IV, aguas de origen meteórico, de composición similar al Río Orinoco, identificados en yacimientos con recarga de agua de la Formación Freites a Formación Oficina. Adicionalmente, simulaciones numéricas geoquímicas realizadas en la Cuenca Oriental de Venezuela por Méndez *et al*. (1996) utilizando el programa EQ3-6, establecieron interacciones roca-agua que indican precipitación de siderita, calcita y óxidos de hierro, así como disolución de feldespatos potásicos. Asimismo, los cambios de porosidad y salinidad conllevaron a la creación de nuevas condiciones redox y de pH que son favorables para la precipitación y/o disolución de nuevas especies, creando posibles barreras de movimiento. En relación con los hidrocarburos reportados en el área, se produjo un aumento en el contenido de azufre y en la posible alteración por biodegradación hacia el sursuroeste.

El análisis hidrogeoquímico para la prospección de recursos hidrocarburíferos es una metodología utilizada no solo por Venezuela sino en otros países con industrias petroleras. En el Ártico de Siberia la reconstrucción paleohidrogeológica sugirió la presencia de tres tipos de depósitos petroleros: aguas entrampadas de origen marino entrampadas durante la depositación, aguas de origen meteórico que se infiltran en la cuenca y aguas condensadas producidas del intercambio con los hidrocarburos del área (Novikov, 2017).

II. 4. Sistemas Petrolíferos de las cuencas Barinas- Apure, Subcuenca de Guárico y Cuenca Oriental de Venezuela

Los sistemas petrolíferos generalmente son independientes en cada cuenca petrolífera. Existen sistemas hipotéticos (más de 100), comprobados (más de 20) y especulativos (de 3 a 5) caracterizados y explotados a lo largo de los años. A continuación, se describen las principales características de los elementos y procesos de los sistemas petrolíferos de acuerdo con (Parra *et al*., 2018; Santiago *et al*., 2014; Santiago *et al*., 2015).

a) La roca madre por excelencia se encuentra ubicada en la Unidad Depositacional UDII, con mayor prospectividad hacia la Cuenca de Maracaibo y la Cuenca Oriental de Venezuela. Es una unidad compuesta por rocas de grano fino con alta proporción carbonática, depositada en un evento euxínico con altos valores de %COT y característica de organofacies lacustres, marinas, y terrestre (tipo A, B y C) según Pepper y Corvi (1995). El grado de madurez térmica

varía a nivel de país, pero en general con una mayor madurez al norte que al sur. También existen rocas madre asociadas a las Unidades Depositacionales UDIII y UDIV, con características mixtas a terrestres, de organofacies tipo B a DEF (Pepper y Corvi, 1995) y con menores potenciales de generación de hidrocarburos. En ellas, el grado de madurez térmica es variable, en dirección opuesta a la edad de sedimentación de los *foredeeps*.

b) La roca sello esta comúnmente asociada a pares sello reservorio o a grandes espesores lutíticos depositados en las superficies de inundación. Los espesores efectivos varían de 3 a 700 pies (~1 a 250 m) de acuerdo con el espacio de acomodación disponible, con presiones capilares actuales de 33 MPa a 400 MPa. Litológicamente está compuesto por lutitas, areniscas de grano fino y algunas calizas depositadas en ambientes marinos someros y profundos, con presencia también de carbones o lutitas carbonosas.

c) Las rocas reservorio están asociados a las secuencias transgresivas de las unidades depositacionales, considerando que las rocas sellos se encuentran en las superficies de máxima inundación, los espesores varían de 49 pies a 12.000 pies (~16 a 4.000 m), los porcentajes de arena son hasta del 100% y los espesores netos de arena se encuentran desde 28 pies a 1700 pies (9 a 560 m). Los reservorios fueron depositados en ambientes continentales (ej. fluviales), transicionales (ej. Llanura de inundación, estuarios) y neríticos internos, con presencias puntuales de rocas carbonáticas. Finalmente, las porosidades varían de 0,1% a 48%.

d) Las trampas asociadas a los sistemas petrolíferos de Venezuela están relacionadas con eventos estructurales y en menor proporción con acuñamientos estratigráficos ("*pinch-out*"). Los elementos estructurales presentes han sido desarrollados en su mayoría por los eventos tectónicos de la Tectonosecuencia 3.

e) Los procesos de generación, expulsión, migración y alteración post entrampamiento de los sistemas petrolíferos de interés han ocurrido desde el comienzo de la fase de margen activo de la Tectonosecuencia 3, aproximadamente desde le época del Oligoceno. Comienzan en el suroeste y continúan hoy en día, mayormente hacia el área noreste. Para los sistemas especulativos de la UD0 y la UDI aún no se tienen muestras de crudos representativas del sistema.

Capítulo III
Metodología y
Conceptos aplicados

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA Y CONCEPTOS APLICADOS

La hidrogeoquímica es el estudio de la distribución y migración de las especies químicas en sistemas de agua subterráneos y superficiales (Veil *et al*., 2004). La composición química e isotópica de las aguas subterráneas depende de la naturaleza del agua que se infiltra y de las reacciones químicas que ocurren con el medio poroso por el cual percolan (Angulo, 2011). En consecuencia, el análisis fisicoquímico e isotópico de muestras de agua con el objetivo de determinar patrones hidrogeoquímicos basados en su origen, evolución y dinámica son parte de las aplicaciones en las áreas petroleras (Abdou *et al*., 2011), agrícolas y demográficas.

El presente estudio busca la aplicación de metodologías y patrones hidrogeoquímicos para la exploración petrolera. Para ello se necesita una cantidad importante de datos analíticos, por lo que el trabajo se ejecutó en cuatro apartados: el punto de partida fue la recopilación de datos bibliográficos y la creación de una base de datos; la clasificación de estos datos a partir de la caracterización hidrogeoquímica local; además, la caracterización hidrogeoquímica regional en relación con el contexto tectónico, y, finalmente, la discriminación mediante simulaciones fisicoquímicas.

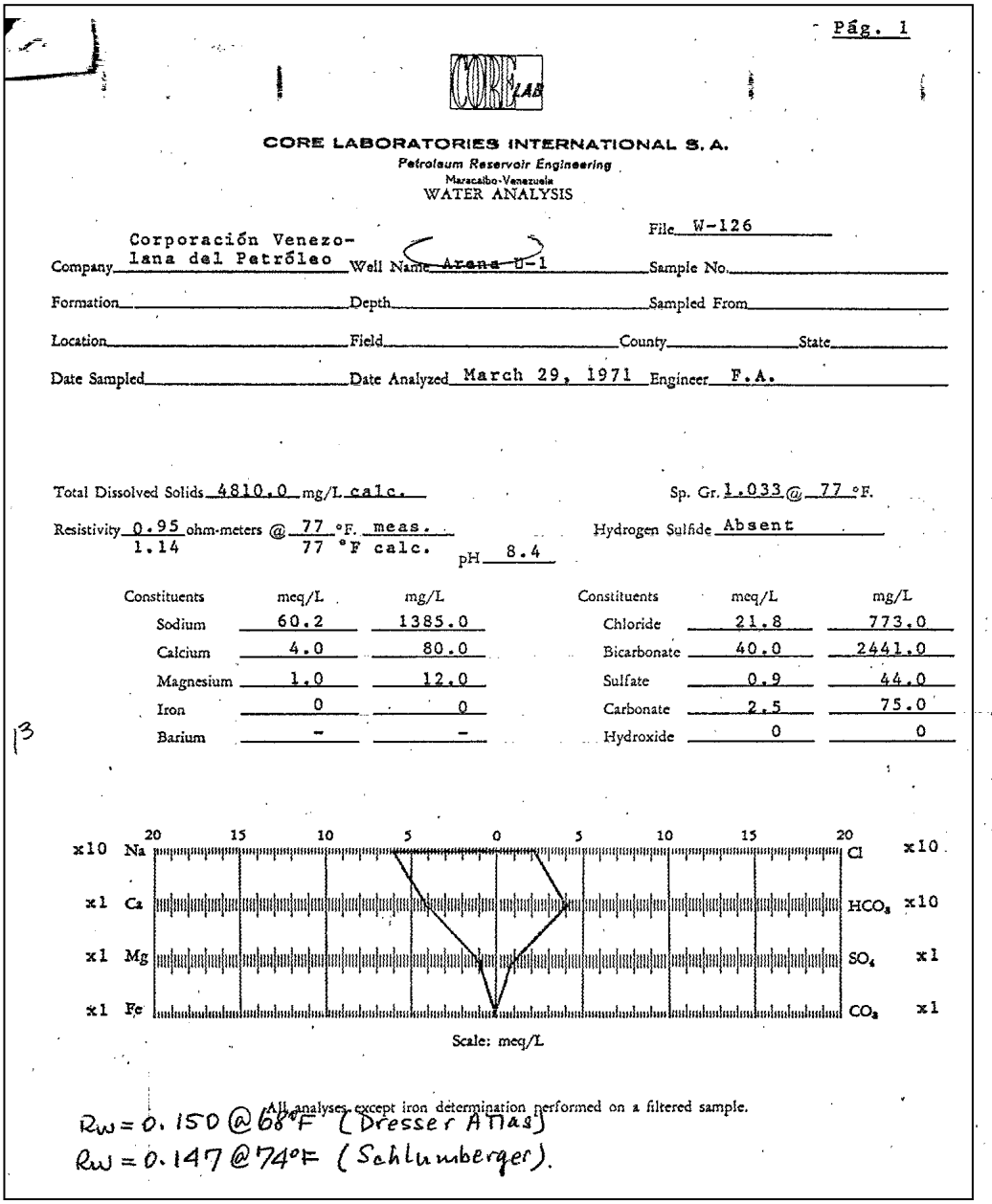
III. 1. Creación de la base de datos

La generación de la base de datos incluyó la recopilación de datos de pH, conductividad y sólidos disueltos totales, análisis fisicoquímicos de elementos mayoritarios, minoritarios y trazas y análisis isotópicos (ej. Boschetti *et al*., 2018) de diferentes pozos petrolíferos, fuentes, ríos entre otros de las cuencas petrolíferas de Venezuela. Se llevó a cabo a partir de información contenida en bases de datos corporativas de PDVSA (ejemplo en Figura 7) y de trabajos universitarios de grado, maestría y tesis doctorales. Los datos fisicoquímicos comúnmente encontrados en los análisis fueron de iones mayoritarios como calcio, magnesio, sodio, cloruro, bicarbonatos, sulfato y potasio, y en menor cantidad algunos iones minoritarios, elementos traza y relaciones de isótopos.

Además de los datos geoquímicos de las aguas, para realizar el análisis vertical y horizontal de los resultados se completó la base de datos con la información de profundidad de la muestra y/o coordenada geográfica, por lo que se revisaron bases de datos corporativas de PDVSA, carpetas de pozos y/o transformación de coordenadas. El resultado fue una base de datos en Excel, robusta con una ubicación geográfica y un nivel estratigráfico por muestra.

La calidad de los datos provenientes de los análisis fisicoquímicos son la diferencia fundamental en una interpretación errónea por valores anómalos (Barreto y Martínez, 2021). Un buen muestreo de datos hidrogeoquímicos debe considerar y vigilar el lugar de la toma de muestra, la logística de

traslado al laboratorio que realizará los estudios, el diseño del muestreo, la estimación del volumen de muestra, la preparación del equipo de trabajo y de los envases del muestreo, entre muchos otros (Angulo, 2011). Como puede contener muchas fuentes de error se hace indispensable la determinación de datos anómalos.



Pág. 1

CORE LABORATORIES INTERNATIONAL S. A.
Petroleum Reservoir Engineering
Maracaibo-Venezuela
WATER ANALYSIS

File W-126

Company Corporación Venezolana del Petróleo Well Name ~~Arena U-1~~ Sample No.

Formation Depth Sampled From

Location Field County State

Date Sampled Date Analyzed March 29, 1971 Engineer F.A.

Total Dissolved Solids 4810.0 mg/L calc. Sp. Gr. 1.033 @ 77 °F.

Resistivity 0.95 ohm-meters @ 77 °F. meas. Hydrogen Sulfide Absent
1.14 77 °F calc. pH 8.4

Constituents	meq/L	mg/L	Constituents	meq/L	mg/L
Sodium	60.2	1385.0	Chloride	21.8	773.0
Calcium	4.0	80.0	Bicarbonate	40.0	2441.0
Magnesium	1.0	12.0	Sulfate	0.9	44.0
Iron	0	0	Carbonate	2.5	75.0
Barium	-	-	Hydroxide	0	0

All analyses except iron determination performed on a filtered sample.

Rw = 0.150 @ 68°F (Dresser Atlas)
Rw = 0.147 @ 74°F (Schlumberger).

Figura 7. Ejemplo de un análisis fisicoquímico de una muestra de agua tomada durante la perforación de un pozo petrolero con información de iones mayoritarios y algunos minoritarios, así como de propiedades físicas (Modificado de PDVSA, 1971). Este tipo de ejemplos es el más común en la base de datos.

Hem (1970), propuso realizar un balance iónico para las especies iónicas mayoritarias (Ecuación 1) y sólo seleccionar las muestras con un error resultante menor o igual al 10%, producido por la

posible pérdida de CO_2 al momento de la toma de la muestra (Figura 8). Se aplicó esta ecuación a cada uno de los análisis para discriminar los aceptables y desechar aquellos que no cumplieran el criterio.

$$\%BALANCE\ IÓNICO = \frac{\sum cationes - aniones\left(\frac{meq}{L}\right)}{\sum cationes + aniones\left(\frac{meq}{L}\right)} * 100$$

Ecuación 1. Estimación del balance iónico a partir de la concentración total de los cationes y de los aniones en miliequivalentes oír litro (meq/L) en términos porcentuales (Hem, 1970).

$$HCO_3^- + H^+ \xrightarrow{yields} CO_2 \uparrow + H_2O$$

Figura 8. Reacción química de la evaporación de dióxido de carbono que pudiera ser responsable de la diferencia del 10% en el balance iónico de muestras de agua (Hem, 1970)

III. 2. Caracterización hidrogeoquímica

La caracterización hidrogeoquímica se basó en la identificación de las facies hidrogeoquímicas en las cuencas petrolíferas. Las facies hidrogeoquímicas según Back (1960/2005) son "el diagnóstico de los aspectos químicos que ocurren en las soluciones acuosas de sistemas hidrológicos que reflejan la respuesta de los procesos químicos en el marco litológico y el patrón de flujo asociado". El flujograma de trabajo comenzó con el análisis de la distribución de los elementos químicos mayoritarios, minoritarios y trazas a partir de relaciones iónicas y gráficos. A continuación, se utilizaron las clasificaciones según Piper (1944), Stiff (1951), Schoeller (1977) y Sulin (1946). Finalmente, se congregaron las muestras de agua en base a su tiempo de interacción con la litología caja, diferenciando muestras de aguas connatas, aguas de intercambio iónico, aguas meteóricas o termales, entre otras (Güler *et al*., 2002), caracterización última que fue realizada en función de la profundidad a la cual fue tomada la muestra y la Cuenca a la cual pertenece.

III. 2. 1 Análisis de elementos químicos mayoritarios y propiedades fisicoquímicas

La distribución, acumulación y ocurrencia de los elementos químicos dentro de las muestras acuosas no es un proceso aleatorio. La correlación de los valores obtenidos de un análisis fisicoquímico con la geoquímica de cada uno de los iones es la base de la hidrogeoquímica. Por ejemplo, el agua de mar tiene una “huella” (conjunto de concentraciones de iones específicas o en una relación específica) más representativa que el agua subterránea natural; por lo cual las

relaciones elementales entre sus elementos mayoritarios generalmente se mantienen, aun cuando haya existido interacción con otros fluidos.

A continuación, se describe la aplicabilidad y límites de los iones, propiedades y relaciones utilizadas en este estudio:

- Sodio y potasio: constituyentes principales de rocas ígneas, disponibles en rocas sedimentarias y metamórficas, así como en muestras de agua donde se ha producido el intercambio iónico con las rocas anteriores. Se consideran iones de alta solubilidad generados de la meteorización de feldespatos del grupo de las plagioclasas, disolución de sales evaporíticas y por actividad antrópica. En particular, el potasio posee una solubilidad muy elevada que evita su precipitación, y también suele formar parte de arcillas como Ilita (Custodio y LLamas, 1976; Davis y De Wiest, 1971 y Santos, 1974). El sodio y el potasio son de los ocho elementos más comunes en la superficie de la tierra y suele encontrarse en los minerales constituyentes de las rocas siliciclásticas como los feldespatos potásicos (Ortoclasa-$KAlSi_3O_8$) y moscovita ($(OH)_2KAl_2(AlSi_3O_{10})$); en la hidrósfera suele concentrarse en el agua de mar y más aún en los ambientes hipersalinos donde se forman sales de potasio y el cloruro de sodio o halita como uno de los componentes principales del agua de mar (Larios, 1950).

- Calcio y magnesio: provienen de sales moderadamente solubles a muy solubles, que luego son fácilmente precipitadas como carbonato de calcio o de magnesio. Dado que son especies muy abundantes en la corteza terrestre y de alta movilidad, son mayoritarios en aguas subterráneas. Su presencia en aguas puede deberse a la disolución de calizas, dolomías, yeso y anhidritas (Custodio y LLamas, 1976; Davis y De Wiest, 1971 y Santos, 1974).

- Cloruro: La concentración de cloruros en el medio acuoso varía en relación con los elementos químicos del medio, en particular en áreas de alta tasa de evaporación. Los posibles orígenes que se consideran son: agua de mar almacenada de forma connata (Na^+/Cl^-=0,86 y Br^-/Cl^- =0,0015), lavado de sedimentos expuestos a procesos evaporativos intensos (Na^+/Cl^-<0,86 y Br^-/Cl^->0,0015) e infiltración de aguas de la superficie con influencia de aerosoles marinos. Dado su carácter conservativo es utilizado en relación con los iones sodio y bromuro como trazador geoquímico para determinar el origen de las aguas (Kharaka y Harnor, 2003). El mineral más común en el cual puede encontrarse es halita. Adicionalmente, cuando la muestra se encuentra cercana a cuerpos de agua salados, es posible la inserción de concentraciones provenientes del aerosol marino (Calvo Gordaliza *et al*., 2009).

- Sulfato: Su concentración en muestras de agua está relacionada con la presencia y solubilidad de minerales como yeso y anhidrita, así como oxidación de pirita. O se incorpora en el medio

por disolución de los minerales formados en ambientes reductores con presencia de materia orgánica como por ejemplo la pirita (Custodio y LLamas, 1976 y Davis y De Wiest, 1971).

- Bicarbonato y carbonato: Se consideran los responsables de la alcalinidad de las aguas considerando su constante de disociación de una especie a otra consumiendo o liberando hidrógenos al medio. Su procedencia en la mayoría de los casos es la atmósfera, con la especie CO_2. También incrementa mediante la disolución de rocas carbonáticas o aporte de materia orgánica (Davis y De Wiest, 1971). Una relación con sulfato (SO_4^{2-}/HCO_3^-) menor a 3 suele relacionarse con aguas con hidrocarburos (Van Voast, 2003 y Vel 'Kov, 1960).

- Sólidos totales: Se refiere a la concentración total de compuestos disueltos en las aguas subterráneas y representa el efecto neto del proceso de interacción agua-roca el cual puede involucrar una o más de las siguientes reacciones: intercambio iónico, oxido-reducción, ácido-base, disolución y precipitación de minerales entre otras (Custodio y LLamas, 1976).

- pH: El comportamiento del ion hidrógeno en una solución acuosa está marcado por las reacciones que ocurren en el medio y que de alguna u otra forma producen o consumen iones hidronio, lo que a su vez determina el estado de otras reacciones en el medio (Hem, 1970). Y, por tanto, determina la intensidad ácida o básica de una solución según su concentración iónica de hidrógeno (Santos, 1974).

- Conductividad específica: Es el inverso de la resistividad y se considera como la habilidad del agua de transmitir corriente eléctrica. Es, por lo tanto, dependiente de la concentración iónica de los compuestos disueltos en el agua y de la temperatura. La unidad utilizada para su medida en los datos disponibles es el microhoms por centímetro (Angulo *et al*., 2016).

- Dureza total del agua: Se encuentra relacionada con el contenido de calcio y magnesio en las muestras y es reportada comúnmente como bicarbonato de calcio. Un agua dura es la que contiene altos valores de estos elementos con presencia no sólo de bicarbonatos sino también de múltiples sales (Zamora, 2008-2009). Valores de aguas suaves se consideran de 0 a 75 mg/L, que se encuentran en aquellas áreas con una baja presencia de rocas carbonatadas (Santos, 1974).

- Alcalinidad: Se define como la capacidad de una solución para neutralizar iones hidronio o en términos simples, ácidos. Algunas de las especies que actúan en la alcalinidad son los bicarbonatos, principalmente, aunque también carbonatos, hidróxidos y boratos (Lozano-Rivas, 2013).

En base a las concentraciones químicas esperadas de los elementos mayoritarios en cada condición fisicoquímica, es posible establecer en gráficos interelementales cuales serían los tipos de agua más posibles. En la Figura 9 se muestran los gráficos utilizados generados a partir de la información en referentes internacionales como Custodio y LLamas (1976) y a continuación se describen los límites que fueron establecidos y los autores bajo los cuales se establecieron.

- En el diagrama que relaciona Cl^- y Na^+ se puede diferenciar las aguas de origen marino, de las aguas que han disuelto halita, de las demás (Kharaka *et al*., 2003). Las muestras con una relación sodio/cloro de 0,8 son características de aguas subterráneas con la misma relación que el agua de mar y se encuentran sobre la línea SWML (*Sea Water Mean Line*); las muestras con una relación sodio/cloro de 1, son características de la presencia de halita en el medio y se encuentran sobre la línea de relación 1:1 entre sodio y cloro. Y las muestras con una relación iónica Na^+/Cl^- menores a 0,8 suelen ser características de aguas subterráneas con un exceso de cloro en el medio, aguas de ambientes marinos o salmueras (Figura 9ª).

- En el diagrama que relaciona HCO_3^- y Na^+, se puede diferenciar de muestras de agua dulce, con muestras con la misma relación que el agua de mar, de las demás. Las muestras con concentraciones de sodio de 0 a 6,5 meq/L (150 mg/L) y concentraciones de bicarbonato de 1,64 a 14 meq/L (100 a 800 mg/L) son posiblemente características de aguas subterráneas con intercambio iónico, consideradas aguas “dulces”. Las muestras con concentraciones de sodio de 6,5 a 4350 meq/L (150 a 10.000 mg/L) y concentraciones de bicarbonato de 0 a 5,74 meq/L (350 mg/L) suelen ser característica de aguas subterráneas con mayor tiempo de residencia o de mezclas con la huella de agua marina. Las muestras con concentraciones de sodio inferiores a 6,5 meq/L (150 mg/L) y concentraciones de bicarbonato inferiores a 1,64 meq/L (100 mg/L), se explican como de mezcla de aguas o aguas con tiempos de residencias muy bajos (Custodio & LLamas, 1976 y Vásquez Castro, 1998; Figura 9^b).

- En el diagrama que relaciona SO_4^{2-}y Na^+, valores elevados de sulfato (>200.000 mg/L o >4200 meq/L) son posiblemente indicativos de ambientes áridos (Kharaka y Harnor, 2003 y Vásquez Castro, 1998; Figura 9^c).

- En el diagrama que relaciona Cl^- y Mg^{2+} se puede diferenciar de muestras de agua dulce, con muestras con la misma relación que el agua de mar, de las demás. Las muestras con una concentración de magnesio superior a 8,3 meq/L (100 mg/L) y la concentración de cloro superior a 7,1 meq/L (250 mg/L) son posiblemente características de ambientes marinos. Las muestras con una concentración de magnesio inferior a 8,3 meq/L (100 mg/L) y la concentración de cloro en el rango de 0,28 a 7,1 meq/L (10 a 250 mg/L) son posiblemente características de ambientes de agua dulce (De Sousa, 2006; Figura 9^d).

- En el diagrama que relaciona HCO_3^- y Mg^{2+}, se puede diferenciar de muestras de agua dulce, con muestras con la misma relación que el agua de mar, de las demás. Las muestras con concentraciones de magnesio inferiores a 8,3 meq/L (100 mg/L) y concentraciones de bicarbonato de 1,64 a 14 meq/L (100 a 850 mg/L) son características de aguas subterráneas de intercambio iónico ("dulces"). Las muestras con concentraciones de magnesio de 8,3 a 98,7 meq/L (100 a 1200 mg/L) y concentraciones de bicarbonato inferiores a 1,64 meq/L (100 mg/L) son valores característicos de aguas de mar. Las muestras con concentraciones de magnesio inferior a 100 mg/L y concentraciones de bicarbonato de 50 a 100 mg/L, evidencia de mezcla de aguas (Custodio y LLamas, 1976 y De Sousa, 2006). Adicionalmente, en el caso de la precipitación y/o dilución de rocas carbonáticas como dolomías la relación con bicarbonato es 1:2 (Figura 9[e]).

- En el diagrama que relaciona SO_4^{2-}y Mg^{2+}, las muestras que se pudieran encontrar por encima de los límites esperados (>435 meq/L Mg^{2+} y 4164 meq/L SO_4^{2-}) pudieran ser relacionadas con la disolución de ambientes evaporíticos (Kharaka y Harnor, 2003; Figura 9[f]).

- En el diagrama que relaciona Cl^- y Ca^{2+} se puede diferenciar muestras de agua dulce, con muestras con la misma relación que el agua de mar, de las demás. Las muestras con una concentración de calcio superior a 30 meq/L (600 mg/L) y concentración de cloro superior a 7,1 meq/L (250 mg/L) son comúnmente características de ambientes marinos. Las muestras con una concentración de calcio están comprendidas entre 0,5 y 30 meq/L (10 a 600 mg/L) y una concentración de cloro entre 0,28 y 7,1 meq/L (10 y 250 mg/L), son características de ambientes de agua dulce (Kharaka *et al*., 2003; Figura 9[g]).

- En el diagrama que relaciona HCO_3^- y Ca^{2+} se puede diferenciar de muestras de agua dulce, con muestras con la misma relación que el agua de mar, de las demás. Las muestras con concentraciones de calcio de 0,5 a 30 mq/L (10 a 600 mg/L) y concentraciones de bicarbonato de 0,82 a 14 meq/L (50 a 850 mg/L) suelen ser características de aguas subterráneas de intercambio iónico, consideradas aguas "dulces". Las muestras con concentraciones de calcio de 20 a 2495 meq/L (400 a 500000 mg/L) y concentraciones de bicarbonato inferiores a 1,64 meq/L (100 mg/L) son características de aguas marinas (Custodio y LLamas, 1976 y Kharaka y Harnor, 2003) (Figura 9[h]).

- En el diagrama que relaciona Ca^{2+} y SO_4^{2-} se investiga sobre una posible relación en el medio considerando la disolución de minerales como yeso o anhidrita. Con especial atención a las muestras cuya relación molar es 1:1 (Figura 9[i]).

- En el diagrama que relaciona Na^+ y K^+ se puede diferenciar muestras de agua dulce, con muestras con la misma relación que el agua de mar, de las demás. De Sousa (2006); Kharaka y Harnor (2003) y Vásquez Castro (1998) han planteado que valores en la relación entre sodio y potasio son a su vez probablemente indicativas de la proveniencia. Las muestras con una relación intercatiónica potasio/sodio de 0,02 a 0,025, suele ser característica de aguas subterráneas provenientes de agua de mar. Las relaciones K^+/Na^+ de 0,001 a 0,02 o de 0,025 a 1 suelen ser características de aguas subterráneas con la misma relación que agua dulce (Figura 9[j]).

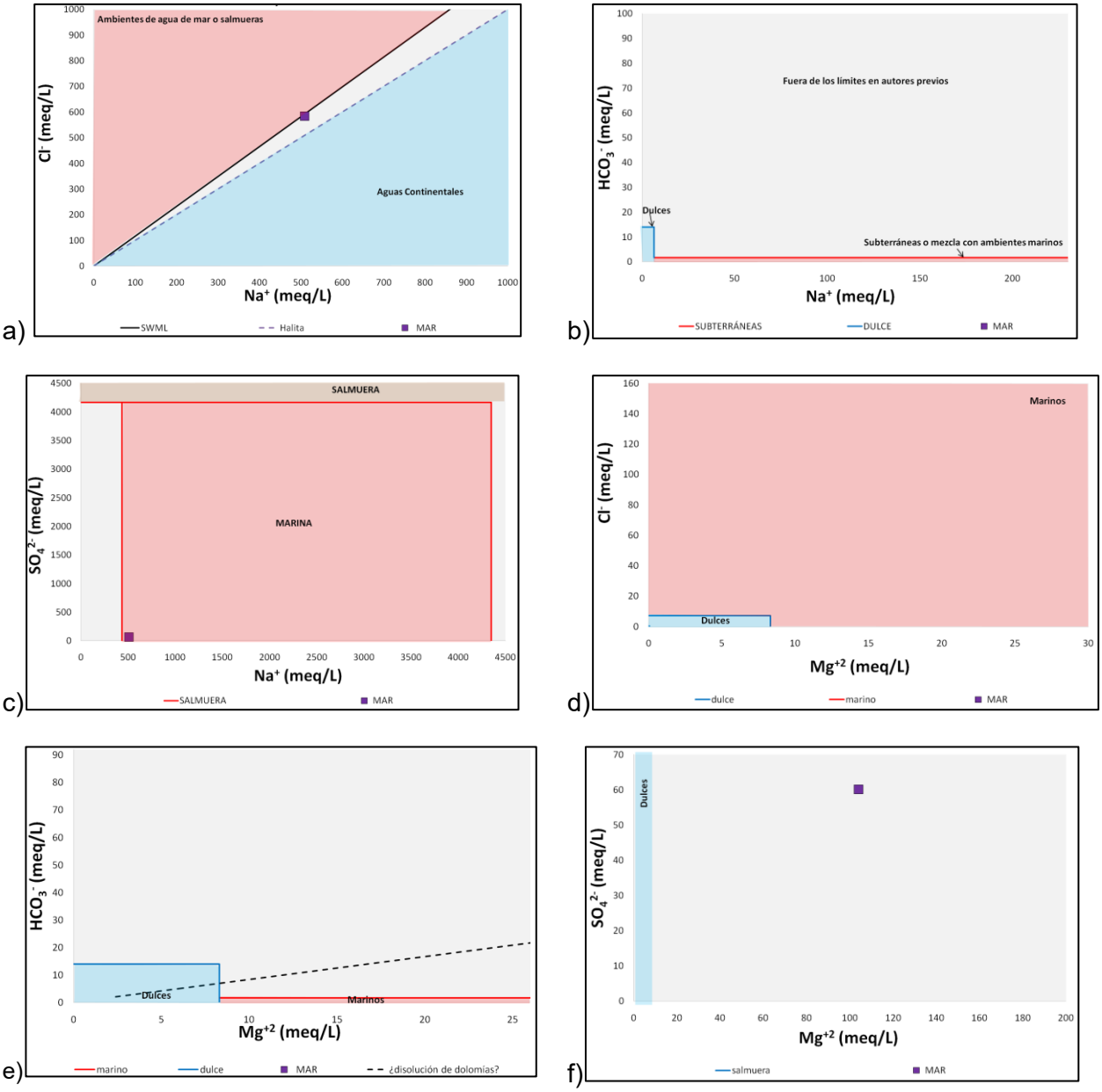
- En el diagrama que relaciona Cl^- y SO_4^{2-} se puede diferenciar de muestras con la misma relación que el agua de mar, de aguas con aportes independientes de Cl^- o SO_4^{2-}. Las muestras con una relación interaniónica SO_4^{2-}/Cl^- de 1,2 y 1,3, suelen ser característica de aguas subterráneas con la misma relación que el agua de mar. Las muestras con una relación interaniónica SO_4^{2-}/Cl^- menor a 1,2, suelen ser comunes en muestra con contacto con una litología salina del tipo halita que aportó cloruro al medio. Las muestras con una relación interaniónica SO_4^{2-}/Cl^- mayor a 1,2 se pueden considerar como aquellas en las que existieron condiciones previas al muestreo favorables para la precipitación de halita, disminuyendo la concentración de Cl^- en la muestra, o alternativamente, que hubo un aporte de sulfato, en todo caso fuera de los límites comúnmente definidos para los iones (Kharaka *et al*., 2003) (Figura 9[k]).

- En el diagrama que relaciona Ca^{2+} y Mg^{2+}, se pueden diferenciar muestras con la misma relación que el agua de mar, muestras con posible interacción con gabros y/o basaltos o muestras con interacción con dolomías. Las muestras con un posible origen continental, que no presentan interacción con agua de mar tienen una relación Mg^{+2}/Ca^{+2} de 0,3 a 1,5. Las muestras con una relación Mg^{+2}/Ca^{+2} cercana a 1 es, probablemente indicativa de presencia e interacción con dolomías o serpentinas en la que existe el aporte de magnesio. Las muestras enriquecidas en magnesio son descritas por autores previos de la posible interacción con gabros y/o basaltos; sin embargo, al observar la composición del agua de mar, la proporción de magnesio es superior al calcio, pudiendo estar entonces relacionados con agua de mar (De Sousa, 2006; Kharaka y Harnor, 2003 y Mandel y Shiftan, 1981; Figura 9[l]).

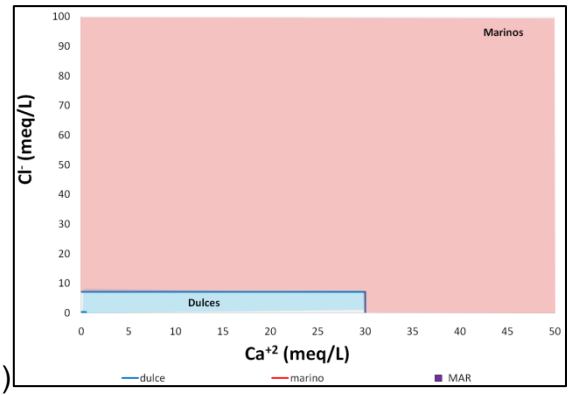
- En el diagrama que relaciona Cl y HCO_3^-, se puede diferenciar muestras de agua meteórica, con muestras con la misma relación que el agua de mar, de las demás. La concentración de bicarbonatos generalmente guarda relación con la presencia de rocas carbonatas o de la disolución de dióxido de carbono en el medio acuoso, y, por lo tanto, suele relacionarse con la presencia de aguas meteóricas. Las muestras con una relación interaniónica cloruro/bicarbonato mayor de 0,1 y menor de 5, se considera suele ser característica de aguas continentales. Las muestras con una relación interaniónica cloruro/bicarbonato entre 20 y 50,

por otra parte, se considera característica de aguas de mar (Custodio y LLamas, 1976; Figura 9[m]).

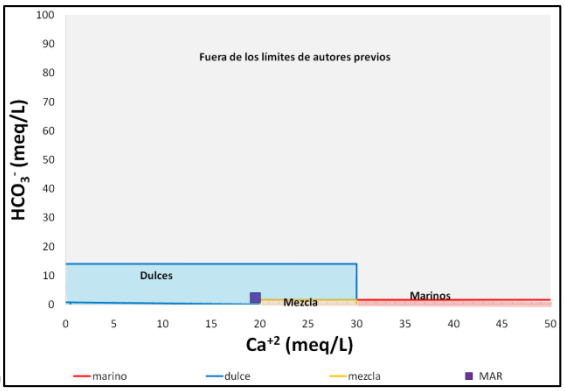
- En el diagrama que relaciona SO_4^{2-} y HCO_3^-, el sulfato se relaciona con presencia de agua marina o ambientes evaporíticos y por tanto en relación inversa con la presencia de bicarbonato como especie iónica, posiblemente asociada a aguas de intercambio iónico (Kharaka y Harnor, 2003) (Figura 9[n]).



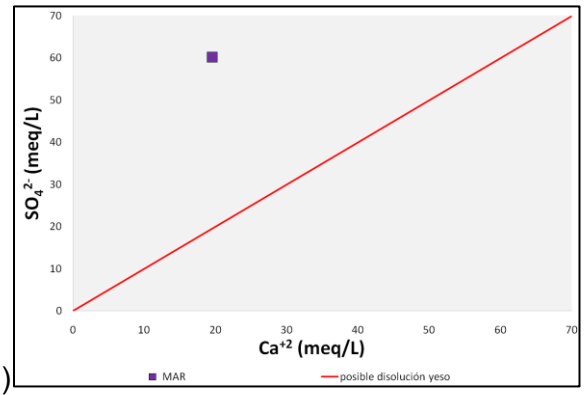
g)


Marinos
Dulces
Cl⁻ (meq/L)
Ca⁺² (meq/L)
dulce
marino
MAR

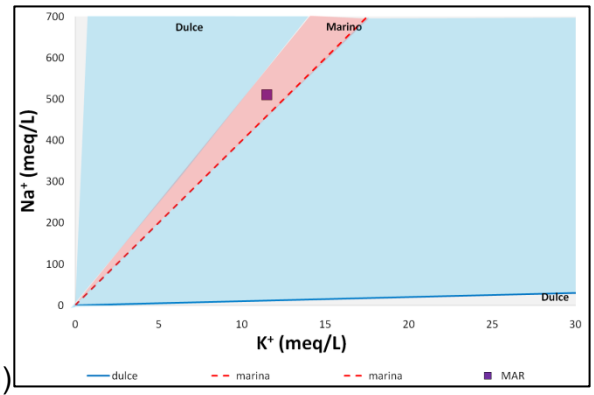
h)


Fuera de los límites de autores previos
Dulces
Mezcla
Marinos
HCO₃⁻ (meq/L)
Ca⁺² (meq/L)
marino
dulce
mezcla
MAR

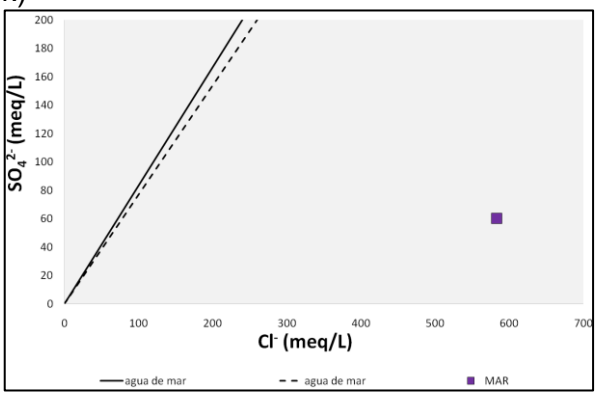
i)


SO₄²⁻ (meq/L)
Ca⁺² (meq/L)
MAR
posible disolución yeso

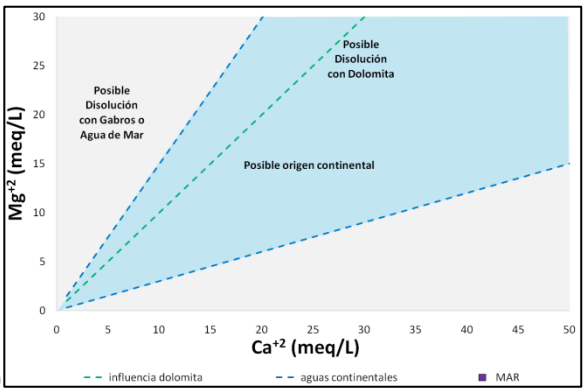
j)


Dulce
Marino
Dulce
Na⁺ (meq/L)
K⁺ (meq/L)
dulce
marina
marina
MAR

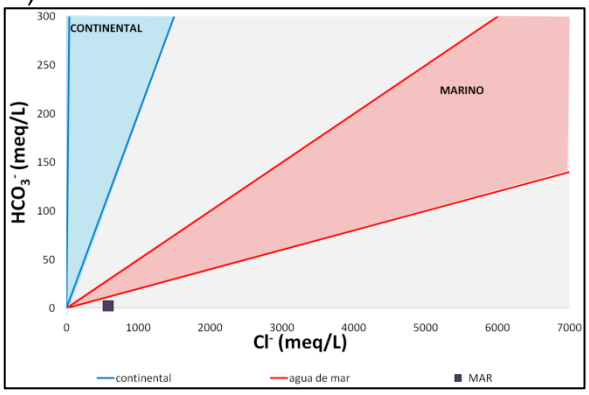
k)


SO₄²⁻ (meq/L)
Cl⁻ (meq/L)
agua de mar
agua de mar
MAR

l)


Posible Disolución con Gabros o Agua de Mar
Posible Disolución con Dolomita
Posible origen continental
Mg⁺² (meq/L)
Ca⁺² (meq/L)
influencia dolomita
aguas continentales
MAR

m)


CONTINENTAL
MARINO
HCO₃⁻ (meq/L)
Cl⁻ (meq/L)
continental
agua de mar
MAR

n)

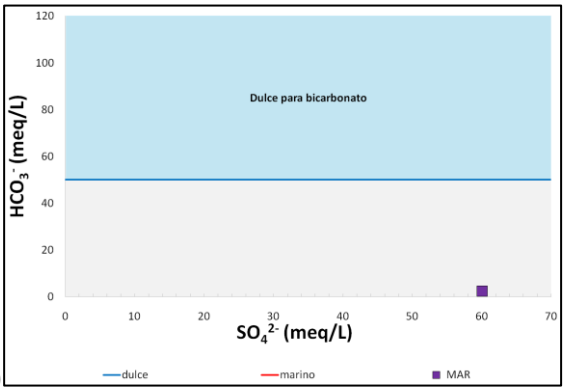

Dulce para bicarbonato
HCO₃⁻ (meq/L)
SO₄²⁻ (meq/L)
dulce
marino
MAR

Figura 9. Gráficos interelementales utilizados para definir las características de las aguas, con la ubicación de una muestra de agua de mar en Venezuela (cuadrado de color morado). a) Na/Cl b) Na/HCO_3^- c) Na/SO_4^{2-} d) Mg^{2+}/Cl e) Mg^{2+}/HCO_3^- f) Mg^{2+}/SO_4^{2-} g) Ca^{2+}/Cl^- h) Ca^{2+}/HCO_3^- i) Ca^{2+}/SO_4^{2-} j) Na/K k) Cl^-/SO_4^{2-} l) Ca^{2+}/Mg^{2+} m) HCO_3^-/Cl^- y n) HCO_3^-/SO_4^{2-}.

III. 2. 2 Análisis de elementos químicos minoritarios y trazas

El análisis fisicoquímico de aguas puede ser realizado para determinar la concentración de los elementos minoritarios y trazas. El análisis químico de elementos traza, cuya composición comúnmente es inferior al 1% del contenido iónico total, también permite realizar interpretaciones sobre el origen o dinámica de muestras de agua. En adelante se describe la aplicabilidad de los elementos minoritarios y trazas con dato disponible.

- Nitratos: El origen en muestras de agua se atribuye a materia orgánica y/o actividad antropogénica. La eliminación del sistema ocurre sólo por evaporación y/o actividad orgánica (Davis & De Wiest, 1971).

- Hierro total: En las muestras de agua más superficiales su movilidad ocurre comúnmente con la presencia del ion Fe^{3+}, que se encuentra limitado a los procesos de óxido-reducción (Custodio y Llamas, 1976). Se encuentra comúnmente asociados a los procesos de intercambios iónicos del ciclo del agua, aunque también puede obtenerse por contaminación de la actividad antrópica en el área (Santos, 1974). En ambientes con gneises, suelen estar relacionados con la presencia de cadmio y plomo debido a la generación de óxidos en el área (Bon *et al*., 2021). La presencia de hierro en altas proporciones suele asociarse a la presencia de condiciones reductoras en el ambiente de recolección del agua subterránea pues permite la existencia de los iones más móviles como lo son el Fe^{3+} (20-500 mg/L) y las muestras mayores a 0,3 mg/L que están a niveles superficiales son consideradas producto de una actividad antrópica (Appelo y Postma, 2005).

- Sílice (soluble): en las aguas subterráneas se presentan dos clases de sílice, el soluble (SiO_2) y el coloidal (en suspensión). En aplicaciones petroleras, los altos niveles de sílice en altas temperaturas, baja dureza del agua y relativa alta alcalinidad conducen a la precipitación de costras silíceas que deben ser removidas de forma drástica dañando el estado del pozo, mientras que a mayor temperatura suele producirse mayor precipitación (Kharitonova *et al*., 2021 y Santos, 1974). Altos contenidos de sílice en un análisis (>60 mg/L) son indicativos de un alto tiempo de residencia de la muestra de agua que no ha permitido el proceso de dilución con muestras meteóricas (Drever, 1997).

- Flúor: Es un elemento minoritario con una baja solubilidad que se encuentra en presencia de minerales como fluorita, apatito y algunos anfíboles, por disolución (Davis y De Wiest, 1971).

- Bromo: Es producido en el medio natural por plantas terrestres y marinas, bacterias, animales marinos y algunos mamíferos, incluidos los humanos, pero en las muestras de aguas subterráneas suele estar por debajo del límite de detección. Algunos de los compuestos biológicamente generados también han sido producidos de forma artificial por la industria, denotando una acción antropogénica. El ion bromuro ha sido utilizado en la prospección de hidrocarburos, en especial con la relación bromuro-cloruro. Este indicador cloruro-bromuro permite distinguir entre la lixiviación de halita y el aporte o presencia de agua de mar (Liu *et al*., 2024). La relación en mg/L de Cl^-/Br^- en el agua de mar es 655 y pueden incrementarse hasta 1500 en aguas subterráneas que se encuentran saturadas en halita, o disminuir hasta 300 en los casos de acción antrópica (Alcalá & Custodio, 2008).

- Boro: Se ha relacionado con un origen antrópico y con la temperatura: a mayor temperatura se encuentra en mayor concentración (Kharitonova *et al*., 2021). Se asocia a los gases volcánicos, depósitos evaporíticos, rocas pegmatíticas (Davis y De Wiest, 1971).

- Estroncio: Tiene un estado de oxidación +2 y su movilidad en el medio acuoso va a depender de los cambios en las condiciones geoquímicas. Su aporte natural proviene de litologías como yeso, dolomita y celestina, mayormente, que son luego transportados por medios acuosos y absorbidos por minerales arcillosos cargados negativamente y óxidos de hierro y manganeso, sensible a las condiciones redox. Se relaciona con los tiempos de residencia dentro del acuífero y puede correlacionarse con el contenido de calcio y magnesio (Hidalgo-Esteves y Cruz San Julián, 1999 y Plechacek *et al*., 2022). La concentración de estroncio no se relaciona directamente con los cambios en las condiciones redox dado que tiene un solo estado de oxidación; sin embargo, suele sustituir a elementos que son sensibles a los cambios redox; las concentraciones de 1 a 50 mg/L podrían relacionarse con ambientes redox (Böhlke y Horan, 2000).

- El arsénico, cromo y azufre bajo ambientes reductores puede encontrarse entre 0,01 y 50 mg/L; 0,01–1 mg/L y 1 a 50 mg/L respectivamente (Mukherjee *et al*., 2024).

- Aluminio: El aporte en las muestras de agua es más probable del intercambio roca-agua de minerales como glauconita, relacionado además con otros elementos como hierro (Yuretich *et al*., 1981). El aluminio (Al) es liberado principalmente por la meteorización de minerales primarios y su concentración en aguas naturales depende del pH, condiciones redox y mineralogía local. Por meteorización de granitos puede encontrarse por reacciones de hidrólisis de 0,1 a 5mg/L en un rango de pH de 4 a 7 y en zonas de laterización que son ambientes de alta lixiviación de 1 a 20 mg/L (Nordstrom y Alpers, 1999).

- Manganeso: El proceso de movilización principal son cambios en las condiciones redox del sistema y el contenido orgánico del medio poroso. Una disolución reductora en acuíferos anóxicos aumenta su concentración y también se relaciona con el aumento de la concentración de hierro (Chakraborty *et al*., 2022).

- Litio: Los depósitos de litio natural se pueden dividir en depósitos de tipo pegmatita, tipo salmuera y tipo sedimentario, según su ocurrencia. En general, estudios previos sugieren que el litio en lagos salados ricos en litio ubicados en zonas tectónicamente activas se deriva de aguas geotérmicas volcánicas y de la meteorización de rocas o minerales ricos en litio. En un estudio hidrogeoquímico e isotópico realizado en la meseta tibetana de China (Li *et al*., 2023) se identificó elementos mayoritarios de litio, sodio y potasio y un empobrecimiento en magnesio y calcio. Además, se vio un enriquecimiento de boro, estroncio, rubidio, cesio, uranio, titanio, vanadio, manganeso, cobre, zinc, cromo, níquel y tierras raras. Los valores estimados de litio se encontraron en el rango de 0,01 a 287,86 mg/L, donde el enriquecimiento también se relaciona con los procesos de evaporación.

- Rubidio: Suele estar asociado con elementos como el litio y el cesio en manantiales naturales que estén en contacto con rocas de litología enriquecida en estos.

- Cobre: Es un metal relativamente raro utilizado para muchas de las actividades antrópicas industriales, y se considera aceptable con valores de referencia de 2 mg/L. A niveles por encima de 5 mg/L, el cobre tiñe el agua y confiere un sabor amargo no deseado. Se encuentra en la naturaleza como calcopirita $CuFeS_2$ y Malaquita $Cu_2(CO_3)$. $(OH)_2$. Por lo general, la presencia de cobre en un sistema de abastecimiento de agua de uso y consumo humano se debe a la acción corrosiva del agua que disuelve las tuberías de cobre en las edificaciones (Organización Mundial de la Salud, 2022).

- Tierras raras: La concentración, fraccionamiento y forma química de los elementos de tierras raras permite diferenciar entre aguas que han estado en contacto con material geológico de distinta composición. También facilita la determinación de posibles cambios espaciales o temporales de pH y condiciones redox en un acuífero de composición litológica homogénea (Angulo, 2011).

III. 2. 3 Análisis isotópicos

El análisis isotópico suele ser realizado a partir de relaciones en isótopos, tanto estables como radiogénicos, que permiten evaluar procesos geoquímicos, biogeoquímicos o físicos que ocurren entre el fluido de interés y el entorno litológico que lo rodea. Los isótopos pueden ser empleados

como trazadores en agua, basado en la "huella" o rangos específicos de ciertos tipos de muestras respecto a otras (Clark, 2015; Hoef, 2009 y Kendall & Doctor, 2004).

Existen múltiples elementos químicos cuyos isótopos pueden ser analizados, de los más representativos la literatura considera: tritio (T o ^{3}H) un isótopo del elemento hidrógeno que presenta dos fuentes: atmosféricas y de la actividad antrópica, causado por las pruebas termonucleares; Carbono-14 (^{14}C) un isótopo del elemento carbono que ingresa al ciclo hidrológico como soluto orgánico o inorgánico con una alta reactividad; Cloro-36 (^{36}Cl) un isótopo del elemento cloro que ingresa al ciclo hidrológico en aguas meteóricas; Iodo-129 (^{129}I) un isótopo del elemento Iodo ideal para la determinación de edad en aguas antiguas; Critptón-85 (^{85}Kr) un isótopo del elemento Criptón que permite estimar tiempo de residencia del agua y edades de aguas recientes; Boro-11 ($\delta^{11}B$) relación de los isótopos estables del elemento Boro respecto a un *standard* e ingresa al ciclo hidrológico por incorporación antrópica; Estroncio-87/Estroncio-86 ($^{87}Sr/^{86}Sr$) permite identificar tipos litológicos en contacto con aguas (Althaus *et al*., 2009; Guerrot *et al*., 2010; Phillips y Castro, 2003 y Widory *et al*., 2004). Los de mayor uso y disponibles en la base de datos son:

- Carbono-13 (^{13}C): Es un isótopo del elemento carbono que contiene 6 protones y 7 neutrones. Se asocia a las especies inorgánicas disueltas en las muestras de agua y por tanto de utilidad para identificar zonas de recarga de acuíferos, pero generalmente se complementa con el uso de otros isótopos como Deuterio (D o ^{2}H) y Oxigeno-16 (Carothers y Kharaka, 1980 y Mook, 2000). Entre los posibles orígenes del isótopo en aguas como degradación de los suelos, geológico, magmático, materia orgánica, disolución de minerales carbonatados, siendo de especial interés el proceso de intercambio con CO_2 de la atmosfera y la interacción agua-roca. Las distintas huellas isotópicas de los posibles aportes pueden asociarse a lodos de perforación, las bacterias metanogénicas o sulfato reductoras, las lutitas marinas y del CO_2 atmosférico (Carothers y Kharaka, 1980).

- $\delta^{18}O$ y $\delta^{2}H$ o δD: En la naturaleza el ion de hidrógeno se puede encontrar en orden de abundancia como,^{1}H, ^{2}H (Deuterio) y ^{3}H (Tritio, radiogénico); y el ion oxígeno se encuentra en orden de abundancia, como ^{16}O y ^{18}O. Estos elementos son los constituyentes principales del agua (H_2O). Se pueden producir 6 combinaciones isotópicas estables diferentes, en orden de abundancia: $^{1}H^{1}H^{16}O$ (Molécula más frecuente), $^{1}H^{1}H^{18}O$ (2da), $^{1}H^{2}H^{16}O$ (3ra), $^{1}H^{2}H^{18}O$, $^{2}H^{2}H^{16}O$, $^{2}H^{2}H^{18}O$ (improbable). El estándar internacional para la medida de las relaciones $^{2}H/^{1}H$ y $^{18}O/^{16}O$ es un agua de mar que se denomina VSMOW (*Vienna - Estándar Mean Ocean Water*), recomendado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (Soler *et al*., sf). Se utilizan las diferencias en las relaciones isotópicas, también conocido como delta del isótopo (Ecuación 2), con el objetivo de identificar origen del agua de recarga, origen de contaminantes

en acuíferos, interconexión entre muestras de origen subterráneo y superficiales e indicador de descarga submarina de aguas subterráneas.

$$\delta A = \left(\frac{\left(\frac{A}{B}\right)_{muestra}}{\left(\frac{A}{B}\right)_{estándar\ vsmow}} - 1 \right) * 1000‰$$

Ecuación 2. Fórmula para determinar el factor delta de los isótopos. A y B se refiere a los isótopos en cuestión, por ejemplo, A=^{18}O y B=^{16}O. El numerador se refiere a la relación en la muestra que se está analizando y el denominador es la relación en la muestra estándar. Siendo esto un resultado que se expresa en partes por mil (‰)

Los valores de la fracción delta en estos isótopos en el agua dependen del fraccionamiento ocasionado por procesos de evaporación, en el cual el isótopo más pesado migra a los acuíferos y los más ligeros son parte de las aguas de lluvia (Clark y Fritz, 2013; Figura 10), que va a ir evolucionando en el tiempo y espacio. En general, la fase más pesada al medirla en los isótopos del agua será encontrada en la fase menos móvil (Back, 1960/2005). Es por ello, que se entiende como en zonas polares, donde el transporte ha sido extenso, los isótopos sean mucho más ligeros que hacia las zonas intertropicales.

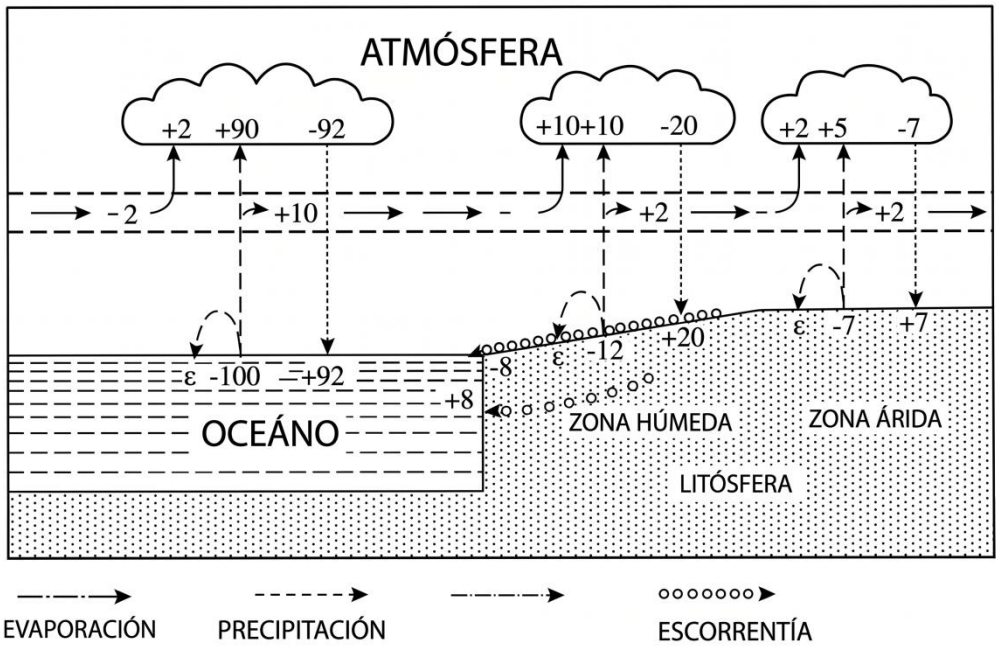


Figura 10. Diagrama de flujos relativos en el ciclo hidrológico con posibles fraccionamientos durante los proceso de evaporación, precipitación y escorrentía. Tomado de Gat (1996). Nota: 100 unidades= flujo de evaporación desde el mar.

Craig (1961), desarrolló una ecuación de correlación entre los isótopos ^{2}H y ^{18}O que se define como "*Global Meteoric Water Line*, GMWL" o línea meteórica global, que en líneas generales presenta la ecuación "y = 8x+10". Si se establece esa misma relación para una región determinada se habla de "*Local Meteoric Water Line*, LMWL", la línea de agua meteórica local, de esa región concreta. Las

diferencias en la pendiente de ambas líneas son indicativas del tipo de procesos que ocurren a nivel local (Soler *et al*., sf; Figura 11):

- Efecto de temperatura: éste es el primer parámetro de control de la composición isotópica del agua de lluvia. De acuerdo con la temperatura a la cual se evaporó el agua de mar y, aún más, de la temperatura a la cual condensó la lluvia o la nieve varía la composición isotópica. A temperaturas menores el fraccionamiento es mayor, el isótopo más pesado se concentra en la fase sólida y el más ligero se evapora.

- Efecto altitudinal: en el lado de barlovento de las montañas, los contenidos de ^{18}O y ^{2}H del agua de lluvia disminuyen respecto a los isótopos ligeros con la altitud, resultando en aguas más ligeras en cotas más altas. Esto se debe a una combinación de factores, fundamentalmente dos: 1) En cotas más altas, la lluvia procede de masas de vapor progresivamente empobrecidas isotópicamente por la pérdida de isótopos pesados en las lluvias precedentes y 2) En cotas más altas, la temperatura es más baja y por tanto el fraccionamiento de la condensación de vapor es mayor. Este efecto es de gran utilidad para localizar las zonas de recarga.

- Efecto latitudinal: los contenidos de isótopos pesados en lluvia disminuyen al aumentar la latitud. Se trata de un efecto aparente pues en realidad se debe a la temperatura a la cual se generan las masas de vapor y de lluvia o nieve a escala del planeta, combinado con una escasa mezcla de las masas de aire (y las nubes) que se mueven a distinta latitud.

- Efecto de continentalidad: los contenidos de ^{2}H (D) y ^{18}O en lluvia disminuyen tierra adentro desde la costa. Se debe fundamentalmente a la historia previa de las masas de vapor, que son progresivamente más ligeras tierra adentro por pérdida de humedad y de isótopos pesados debido al desgaste cinético de la nube.

- Efecto de cantidad: las lluvias más abundantes son más ligeras. Esto se debe a que la lluvia se va haciendo más ligera conforme va condensando la humedad residual del aire, previamente empobrecida en isótopos pesados durante los episodios anteriores de lluvia.

- Variación estacional: la lluvia de invierno es más ligera que la de verano (hasta un 10 ‰ de diferencia). Se debe también a la temperatura de evaporación y de condensación: a menor temperatura de evaporación más ligeras son las nubes (mayor es el fraccionamiento) y también más abundantes son las lluvias.

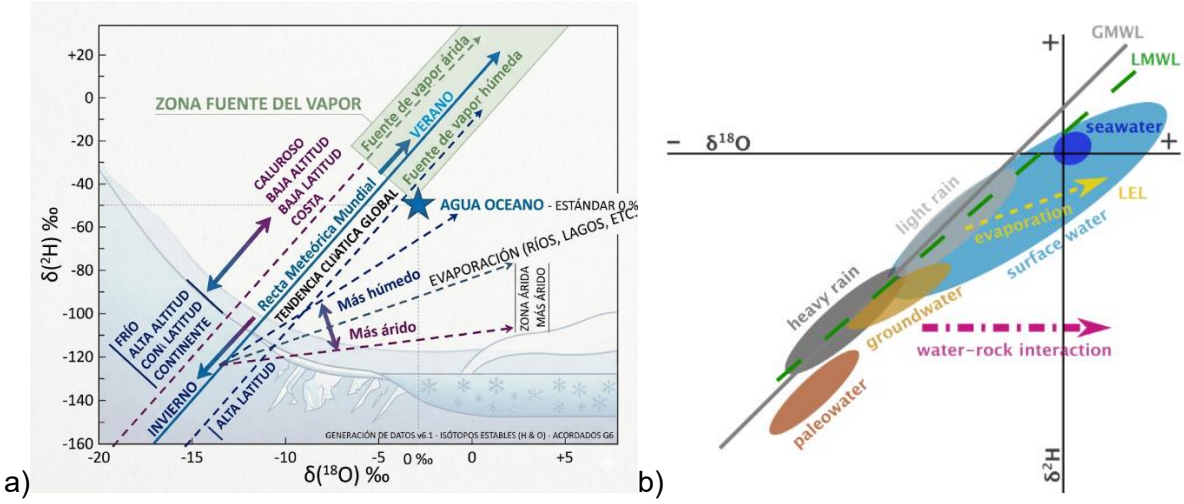


Figura 11. Diagramas conceptuales de la relación δ^2H y δ^{18}O con los cambios respecto a la línea meteórica mundial. a) Posibles líneas de evaporación y variación con la altitud y la humedad respecto a la línea meteórica mundial (modificado de Craig, 1961) con mayores aplicaciones para aguas superficiales. b) Variaciones en la composición del agua esperada con la interacción con minerales y rocas del entorno (Tomado de Diamond, 2022) con mayores aplicaciones en las aguas profundas.

El procedimiento realizado en la caracterización incluyó: ubicación geográfica y estratigráfica de las muestras por cuenca petrolífera de interés, determinación de la línea meteórica local (IAEA/WMO, 2023 y IAEA, 2024), estimación de la línea de evaporación (Navarro-Ciurana *et al*., 2023) y el análisis individual de las muestras. De esta manera se pueden obtener patrones en la distribución de las muestras y deducir procesos hidrogeoquímicos que ocurrieron y ocurren. Cabe destacar que los efectos de latitud, cantidad y variación estacional resultan marginales en este contexto.

En específico para la determinación de la línea meteórica local (LLWL) es ideal utilizar sólo muestras de precipitación, de más de un año, para hacerla representativa y no influenciada por efectos climáticos como El Niño, con precipitación acumulada superior a 20 mmHg, para eliminar el efecto de cantidad y con un exceso de Deuterio menor a 6 (Ecuación 3), garantizando que no provienen de muestras que han sufrido fraccionamiento isotópico por evaporación. Adicional a los efectos mencionados previamente, las muestras de agua disponibles en la base de datos fueron tomados en el sustrato sedimentario por lo cual la interacción con los elementos presentes en las rocas del área de estudio será relevante. En la Figura 12 se tiene un ejemplo en los movimientos esperados en función del tiempo de residencia de las muestras de agua y la interacción con rocas (Diamond, 2022).

La evaporación a partir de cuerpos de agua superficiales es un proceso de no equilibrio que enriquece el agua residual en isótopos pesados. La pendiente de la relación entre δ^2H y δ^{18}O pasa de 8 a valores entre 4 y 6, en función de la temperatura, la humedad y la concentración salina (Soler, *et al*., sf), Figura 11 y Figura 12). En específico para la determinación de la línea de evaporación se

siguió un procedimiento de tres partes: Primero, estimar el punto de corte de la línea de evaporación con la línea meteórica local. Segundo, estimar la pendiente de la curva y tercero y último determinar el punto de intercepto (Figura 13).

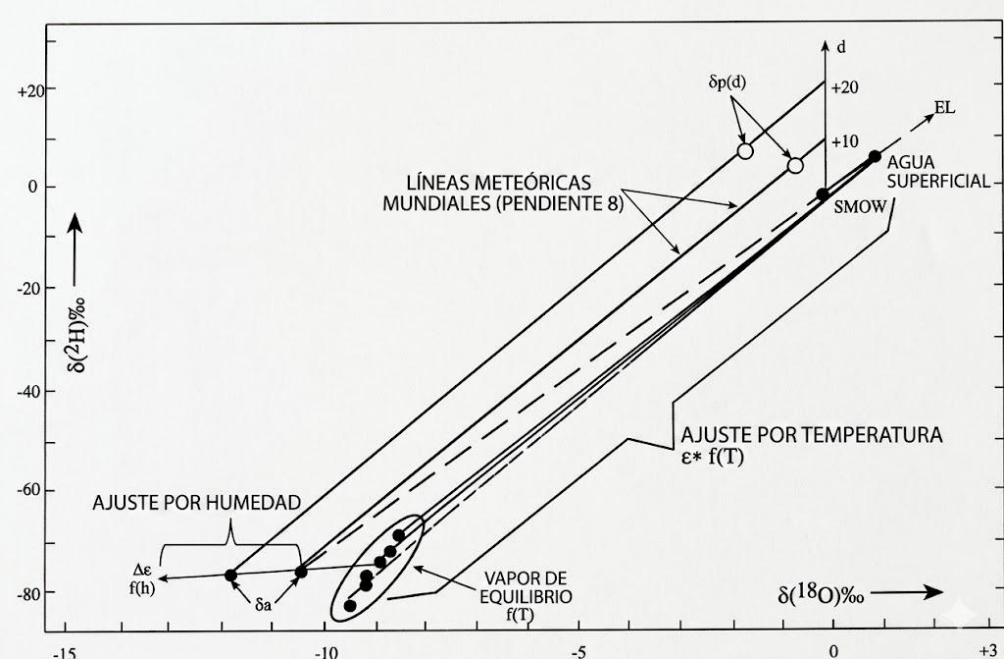


Figura 12. Diagrama de la relación δ^2H y δ^{18}O para procesos de evaporación con las principales variables que son evaluadas en la construcción de una Línea de Evaporación Local (Traducido de Gat, 1996)). El término EL se refiere a la línea de evaporación, donde se observan distintas las pendientes (más adelante descritas como s) de acuerdo con los datos.

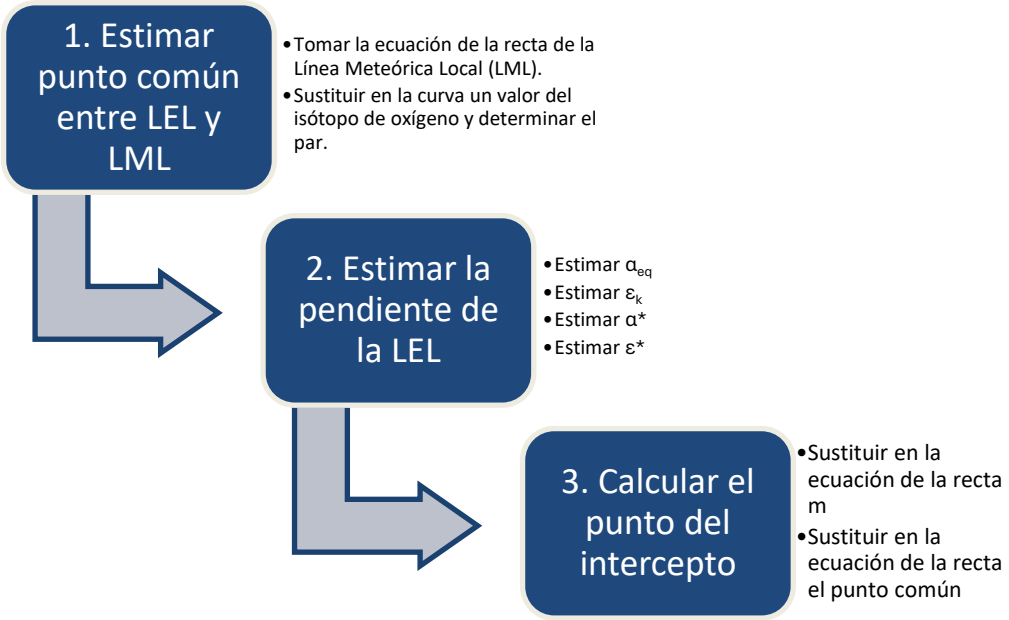


Figura 13. Diagrama simplificado del procedimiento necesario para estimar la línea de evaporación local (LEL).

Para comenzar la fórmula teórica para una línea de evaporación sería:

$$\delta^2 H = s * \delta^{18} O + d$$

Ecuación 3. Fórmula base de una línea de evaporación. Donde s: pendiente de la curva y d: intercepto de la curva

Paso 1. Estimar punto común entre la línea de evaporación local (LEL) y la línea meteórica local (LLWL)

En este punto se toma la ecuación de la recta determinada para la línea meteórica local y se sustituye el valor de uno de los isótopos para estimar el otro. Ejemplo en la Ecuación 4:

Si: $\delta^2 H = S * \delta^{18} O + a \ (ecuación\ de\ LLWL)$

Sustituyo $\delta^{18} O$: -3

$$\delta^2 H = S * (-3) + a$$

Ecuación 4. Ejemplo para la determinación del punto común entre las líneas de evaporación y meteórica local

Paso 2. Estimar la pendiente de la LEL

En este punto se tomó la ecuación de la pendiente propuesta por Gat (1996) y se determinan los elementos teóricos y prácticos que ahí se analizan. El procedimiento incluye:

1. La fórmula para determinar la pendiente sería según Gat (1996).

$$S = \frac{\left(\left(\varepsilon_{eq}^{2} H + \frac{\varepsilon_k^2 H}{(1-h)}\right)\right)}{\left(\left(\varepsilon_{eq}^{18} O + \frac{\varepsilon_k^{18} O}{(1-h)}\right)\right)}$$

Ecuación 5. Fórmula para determinar la pendiente de la línea de evaporación (Craig & Gordon, 1965).

Donde

h: humedad relativa del lugar de 0 a 1. Se puede encontrar en los servicios de meteorología de los lugares, en el caso de Venezuela INAMEH.

ε_k: Factor de enriquecimiento cinético para Deuterio y Oxígeno 18. Expresado en partes por mil ‰.

ε_{eq}: Factor de enriquecimiento en equilibrio termogénico para temperatura ambiente y se calcula para Deuterio y Oxígeno 18. Expresado en partes por mil ‰.

2. Las fórmulas para determinar el factor de fraccionamiento en equilibrio de los isótopos Deuterio y Oxígeno 18 en función de la temperatura (Horita y Wesolowski, 1994 y Majoube, 1971):

$$\propto^{eq}_{Isótopo\ pesado} = \frac{\left(\frac{Isótopo\ pesado}{Isótopo\ liviano}\right)_{líquido}}{\left(\frac{Isótopo\ pesado}{Isótopo\ liviano}\right)_{vapor}} = e^{\left(\frac{A_{isótopo\ pesado}}{T^2} + \frac{B_{isótopo\ pesado}}{T} + C_{18}\right)}$$

Ecuación 6. Fórmula para determinar el factor de fraccionamiento en equilibrio del oxígeno y el deuterio (Horita y Wesolowski, 1994 y Majoube, 1971)

Donde,

Los valores de A, B y C para oxígeno y deuterio son los de la Tabla 1 de acuerdo con Majoube (1971) y T: es la temperatura en grados kelvin de la superficie.

Tabla 1. Constantes utilizadas para los valores A, B y C de la fórmula empírica de equilibrio para determinar factor de fraccionamiento (Majoube, 1971).

Isótopo	A (K^2)	B (K)	C
^{18}O	1137	-0,4156	-0,00207
^{2}H	28444	-76,248	0,05261

3. La fórmula para determinar el factor de enriquecimiento cinético (Craig y Gordon, 1965)

$$\varepsilon_k = (1 - h) * \theta * n * \varepsilon_{max}$$

Ecuación 7. Fórmula para determinar el factor de enriquecimiento cinético (Craig y Gordon, 1965).

Donde,

θ: Factor de influencia de la evaporación en la composición del vapor de agua. Con valores de 0,5 a 0,8 en estudios en trópicos húmedos. Valores más elevados se relacionan con mayores turbulencias, han sido reportado en Latinoamérica hasta 1,5 (Alvarado *et al.*, 1996)

n: es dependiente del régimen aerodinámico y varía desde 0,5 a 1 en suelos secos.

ε_{max}: es el factor de enriquecimiento máximo teórico para Deuterio y Oxígeno 18. Expresado en partes por mil ‰.

ε_k: Factor de enriquecimiento cinético para Deuterio y Oxígeno 18. Expresado en partes por mil ‰.

4. La fórmula para determinar el factor de fraccionamiento total, expresado con α*, de acuerdo con el isótopo y con la temperatura (Craig & Gordon, 1965):

$$\propto^{*}_{isótopo\ pesado} = \propto^{eq}_{isótopo\ pesado} * \left(1 + \frac{\varepsilon_k isótopo\ pesado}{1.000}\right)$$

Ecuación 8. Fórmula del fraccionamiento isotópico total para oxígeno y deuterio (Craig y Gordon, 1965).

Donde,

α(alfa)*: Factor de fraccionamiento total a temperatura ambiente para Deuterio y Oxígeno 18

α(alfa)^{eq}: Factor de fraccionamiento termodinámico para Deuterio y Oxígeno 18

ε_k: Factor de enriquecimiento cinético para Deuterio y Oxígeno 18. Expresado en partes por mil ‰.

5. La fórmula para determinar el factor de enriquecimiento termodinámico, expresado con εeq, es:

$$\varepsilon_{eq} = 1000 * (\propto^{eq}_{isótopo\ pesado} - 1)$$

Ecuación 9. Fórmula del factor de enriquecimiento termodinámico (Gonfiantini, 1986)

Donde,

α (alfa) equilibrio: Factor de fraccionamiento total a temperatura ambiente para Oxígeno 18

ε_{eq}: Factor de enriquecimiento cinético para Oxígeno 18. Expresado en partes por mil ‰.

Paso 3. Estimar el intercepto de la LEL

En este punto se toma la Ecuación 3 y se sustituye el resultado obtenido de los pasos 1 y 2.

III. 2. 4 Clasificaciones estándar

Los principales tipos de aguas se determinan en base a su composición química de los elementos mayoritarios. Las más utilizadas en hidrogeología se explican a continuación.

La clasificación de Piper (1944), separa fluidos de acuerdo con sus componentes principales a partir de las concentraciones en meq/L de los iones Na^+, Cl^-, HCO_3^-, CO_3^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+} y SO_4^{2-}, en un diagrama múltiple triangular con cuatro composiciones extremas (Figura 14^A): aguas sulfato cálcicas asociadas a oxidación de sulfuros, contaminación minera o actividad bacteriana, aguas bicarbonatadas-cálcico-magnésicas asociadas a la presencia de carbonatos, rocas cristalinas o till

glaciales, aguas bicarbonatadas sódicas asociadas al intercambio iónico en las aguas meteóricas y aguas cloruradas sódicas asociadas a salmueras, agua de mar y rocas sedimentarias.

La clasificación de Sulin (1946) distingue los fluidos a partir de las concentraciones en meq/L de los iones Na^+, Cl^-, Mg^{2+} y SO_4^{2-}. Una muestra de agua con una relación Na^+/Cl^- inferior a la unidad es un agua connata o que se mantuvo en la roca desde el momento de la depositación y que han tenido miles o millones de años ocluidas en la roca. Si la relación Na^+/Cl^- es superior a la unidad entonces será un agua meteórica; provenientes de un periodo corto del ciclo hidrológico, por escorrentías o precipitaciones. Adicionalmente si la relación Na^+-$Cl^-/SO_4^{2-}<1$ se clasifica como sulfato sódico y si es mayor que la unidad entonces será de la clase bicarbonato de sodio.

La clasificación de Stiff (1951) grafica las concentraciones en miliequivalentes por litro de aniones HCO_3^-, CO_3^{2-}, y SO_4^{2-}) y cationes (Na^+, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}) para obtener un polígono que permite la correlación entre aguas y la evolución de un yacimiento. Dentro de las formas más comunes producto de esta proyección, se tienen: la punta de flecha, con una alta proporción de bicarbonatos y calcio características de aguas meteóricas; el embudo, con altas concentraciones de sodio y cloruros, que permite determinar aguas connatas; y el visto bueno hacia atrás con altas concentraciones de bicarbonatos y sodio presente en las aguas de intercambio iónico (Figura 14^B). En ocasiones existen mezclas entre los polígonos producto de algún proceso de mezcla de aguas que pueda estar ocurriendo en el yacimiento.

La clasificación de Hem (1970) se basa en una categorización de las muestras en función de la cantidad de sólidos disueltos (SDT) en las muestras de agua, obtenida de la suma de la concentración individual de aniones y cationes. Aguas dulces son aquellas con SDT menores a 1.000 mg/L, aguas salobres son aquellas con SDT entre 1.000 y 10.000 mg/L, aguas salinas son aquellas con SDT entre 10.000 y 35000 mg/L y aguas salmueras aquellas con SDT superior a los 35.000 mg/L. El objetivo de este método es reconocer cuales muestras han tenido un mayor tiempo de residencia que otras en función de la cantidad de sólidos disueltos.

La clasificación de Schoeller (1977) se basa en una relación logarítmica de las concentraciones en meq/L de los iones Na^+, Cl^-, HCO_3^-, CO_3^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+} y SO_4^{2-} analizados en las muestras de agua; similar a los gráficos de relaciones isotópicas de Sofer, (1984). El objetivo de este método es reconocer muestras de aguas con una distribución similar que indiquen correlación entre las muestras y por tanto información sobre el origen y dinámica de los fluidos (Figura 14^C).

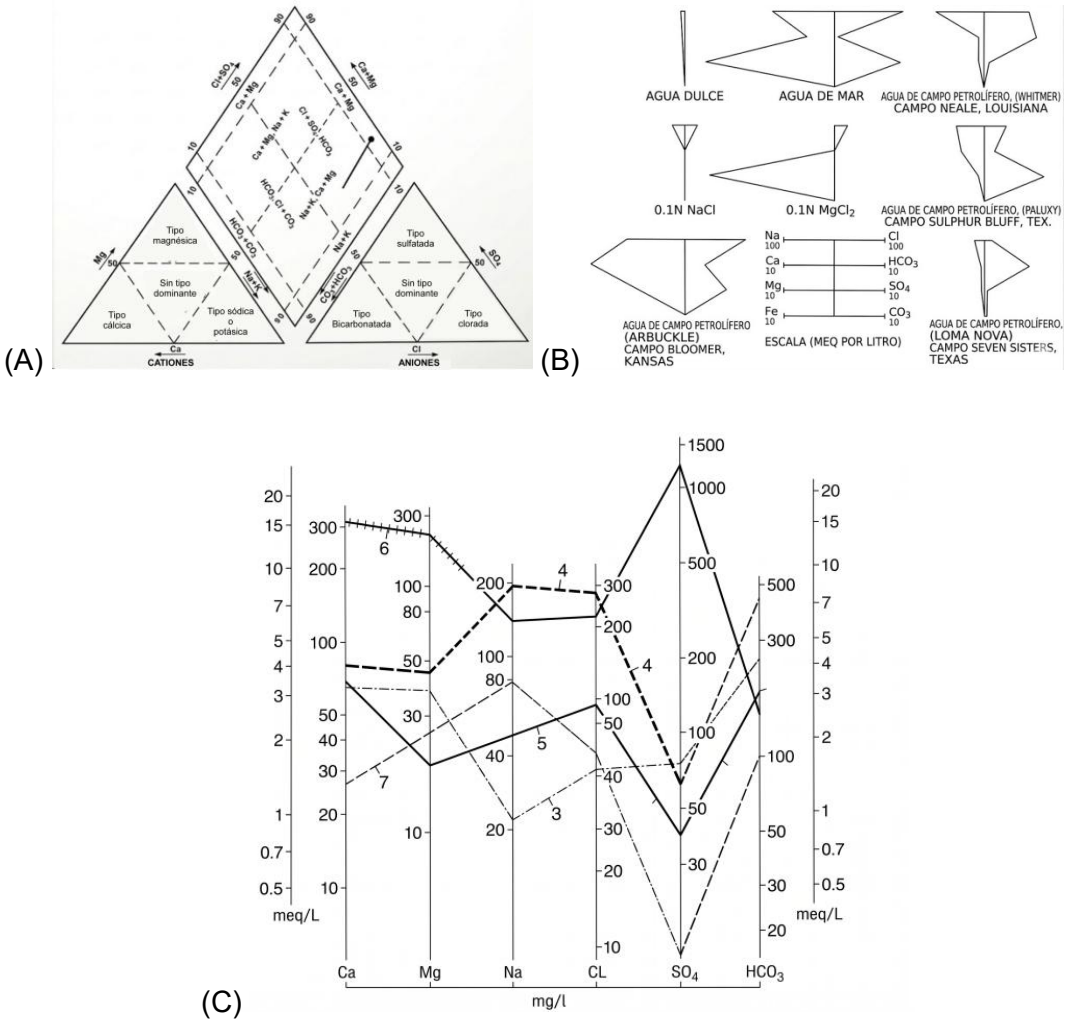


Figura 14. Ejemplos de los diagramas utilizados en las clasificaciones estándar de muestras de agua en base a la concentración en miliequivalentes por litro de los iones mayoritarios (A) Piper (modificado de Back y Hanshaw, 1965) (B) Stiff (1951) (C) Schoeller (1977; modificado de Mandel y Shiftan (1981).

En esta investigación se correlacionaron las facies hidrogeoquímicas con el marco geológico e hidrodinámico de las muestras, no solo en base a su posición geográfica sino también a su nivel estratigráfico. Posteriormente, se estableció una correlación entre la clasificación de las muestras de aguas connatas y los principales elementos estructurales activos hoy en día. Los patrones identificados pueden ser utilizados en áreas exploratorias como métodos prospectivos.

III. 3. Simulación fisicoquímica

El transporte de solutos en una solución acuosa está determinado por el movimiento de iones individuales, a través de mecanismos físicos como la advección, la difusión y la dispersión. Los procesos de advección y dispersión actúan de forma integrada: a escala local se manifiestan en áreas de explotación de recursos como el petróleo, donde la movilidad de fluidos es continua; mientras que, a escala regional, se observan en zonas con gradientes potenciométricos

significativos, que representan áreas de recarga. Por su parte, el movimiento difusivo está gobernado por cambios en la entropía del sistema, donde la velocidad hacia el estado de máxima entropía varía según la especie química (Angulo, 2016).

El estudio del movimiento de fluidos en cuencas sedimentarias se relaciona con parámetros fundamentales como la permeabilidad de los estratos o sedimentos, porcentaje de arena y porosidad de las litologías, así como temperatura, presión y salinidad de las aguas. En muchas cuencas sedimentarias petrolíferas del mundo, las áreas de descarga lateral de los acuíferos regionales se corresponden con áreas de mayor gradiente geotérmico, mayor salinidad y mayores acumulaciones de hidrocarburos. Si se verifica una relación entre el movimiento de aguas y el de hidrocarburos, entonces los hidrocarburos deberían moverse en la misma dirección, bajo el mismo ente transportante. Por ello, las zonas de descarga con aguas de mayor salinidad pueden ser una importante herramienta prospectiva de acumulaciones petrolíferas (Méndez *et al*., 1996).

Un modelo es una aproximación a la realidad de las características observables de un sistema (Nordstrom, 2004). Un modelo químico para sistemas geológicos podría ser el concepto o la aproximación más adecuada para describir un modelo hidrogeoquímico. El objetivo es simular las interacciones químicas y los procesos que ocurren en el medio geológico, para obtener información sobre el posible origen o la interacción de los fluidos pre-existentes; así como predecir una futura interacción si las condiciones químicas y físicas lo favorecen (García Villanueva, 2023).

El modelo hidrogeoquímico puede realizarse de distintas formas dependiendo de los objetivos planteados, las herramientas y la complejidad del sistema a modelar. La modelación directa se utiliza conociendo la composición de los fluidos en el área y las reacciones químicas posibles en el entorno geológico; el objetivo es conocer la composición final y también puede utilizarse para procesos de mezclas de aguas comparándola con la composición conocida del fluido final. La modelación inversa se realiza con el objetivo de conocer la proporción de masa transferida entre las distintas fases de un medio (líquida, sólida y gaseosa) a partir de una composición inicial y una composición final de la fase líquida, pero sus resultados deben ser calibrados y comparados con la posibilidad de ocurrencia de estos (Appelo y Postma, 2005 y Bustamante Ibañez y LEAL, 2017).

En la actualidad los modelos se han clasificado en cuatro grupos que podrían permitir la comprensión de un sistema geológico: modelos de especiación y solubilidad, modelos de balance de masa, modelos de transferencia de masa y modelos de códigos de transporte de masas químicas (Appelo y Postma, 2005; Parkhurst *et al*., 1982 y Plummer *et al*., 1991/2005):

- El modelo de especiación asume un estado de equilibrio y calcula las especies acuosas y determina el estado de saturación de las especies; adicionalmente desglosa las diferentes

especies acuosas y complejos en los que se pueden encontrar los elementos químicos en la muestra de agua.

- El modelo de balance de masas calcula reacciones a lo largo de un cauce a partir de datos composicionales de entrada y minerales comunes en el medio geológico, el resultado se relaciona con las reacciones posibles que pueden ocurrir entre las fases del medio a lo largo de una corriente, pudiendo establecer velocidades de reacción con los datos correctos.

- El modelo de transferencia de masa es muy similar al modelo de especiación sólo que consideran también el proceso de transferencia de masa o de solubilidad que pueden ocurrir en ese proceso.

- El código de transporte de masa química se trata de un modelo de flujo de fluidos de forma simple en una sola dirección, es ventajoso como una primera aproximación a los procesos cinéticos y las relaciones en modelos de masas acoplados a flujos hidrodinámicos.

En la década de 70 se comenzó el diseño de los primeros programas computarizados para la simulación de equilibrios termodinámicos en especies acuosas dentro del medio poroso; entre los más conocidos están WATEQ (Truesdell y Jones, 1974), BALANCE (Parkhurst *et al*., 1982), NETPATH (Plummer *et al*., 1991/2005) y PHREEQC (Parkhurst *et al*., 1982), donde se incluye la simulación de transporte de solutos en una dimensión. Programas computarizados que han ido evolucionando con los desarrollos tecnológicos y que en muchos casos hoy se mantienen.

Las reacciones químicas en la naturaleza pueden ser "predecibles" de acuerdo con las concentraciones de los iones en solución, la presión y la temperatura y por tanto pueden ser modeladas a través de estos programas. En esta investigación, el fin de las interrelaciones hidrodinámicas desde el punto de vista termodinámico es evaluar la evolución geoquímica de los fluidos y planteado por un modelado termodinámico en tres etapas, utilizando el programa PHREEQC de U.S. Geological Survey (2025) en su version 3 [Software]. (https://www.usgs.gov/software/phreeqc-version-3); empleando la base de datos termodinámica nativa phreeqc.dat y utilizando el modelo de actividad iónica de Davis y De Wiest (1971).

La primera etapa simuló interacciones entre fluidos que permitieran alcanzar facies hidrogeoquímicas características, denominadas casos.

La segunda etapa consistió en un modelo estático, el cual estableció la línea base de especiación iónica y los índices de saturación del agua de formación original bajo gradientes térmicos aislados (25° a 150 °C). Posteriormente, la tercera etapa ejecutó un modelo dinámico de interacción fluido-roca, en el cual las facies hidroquímicas base fueron sometidas a reacciones de disolución forzada

con ensamblajes minerales específicos (carbonatos, silicatos, evaporitas y sulfuros) a la temperatura *in-situ* del yacimiento.

El producto de solubilidad también denominado K_{PS} es la constante de equilibrio que describe la solubilidad de un compuesto iónico en un medio acuoso, calculada por la multiplicación de la concentración molar de los iones en solución (Ecuación 10) y varia con la temperatura. En base a un análisis de los minerales más comunes, la Tabla 2 es una referencia de los valores esperados a temperaturas posibles en las cuencas sedimentarias de 25 a 200°C.

$$K_{ps} = [A^{+m}]^n * [B^{-n}]^m$$

Ecuación 10. Estimación de la constante de solubilidad para minerales en agua. Kps: constante adimensional de solubilidad, A y B= concentraciones en moles por litro de los iones que componen al compuesto iónico, m y n=coeficientes estequiométricos de los iones (Hem, 1970).

Tabla 2. Constante producto de solubilidad (K_{ps}) de los principales minerales comunes en la superficie a temperaturas específicas (en °C). eq= reacción en equilibrio, aq=acuso, s=sólido.

Mineral	Equilibrio iónico	Kps a T				Referencia
		25°C	50°C	100°C	200°C	
Calcita	$CaCO_{3(s)} \underset{eq}{\leftrightarrow} Ca^{2+}{}_{(aq)} + CO_3{}^{2-}{}_{(aq)}$	3,36*10^{-9}	6*10^{-9}	1,4*10^{-10}	5*10^{-8}	(Plummer *et al.*, 1991/2005), *PHREEQC*
Yeso	$CaSO_4 * 2H_2O_{(s)} \underset{eq}{\leftrightarrow} Ca^{2+}{}_{(aq)} + SO_4{}^{2-}{}_{(aq)} + 2H_2O$	2,4*10^{-5}	3,2*10^{-5}	4,9*10^{-5}	Se deshidrata	(Blount y Dickson, 1973) *PHREEQC*
Dolomita	$CaMg(CO_3)_2 \underset{eq}{\leftrightarrow} Ca^{2+}{}_{(aq)} + Mg^{2+}{}_{(aq)} + 2CO_3{}^{2-}{}_{(aq)}$	10*10^{-17}	10*10$^{-16,5}$	10*10$^{-15,8}$	10*10^{-15}	(Nordstrom, 1994), (Langmuir, 1997)
Cuarzo (solubilidad)	$SiO_{2(s)} \underset{eq}{\leftrightarrow} Si^{4+}{}_{(aq)} + 2O_2{}^{2-}{}_{(aq)}$	6mg/L	12mg/L	30mg/L	100mg/L	(Fournier y Potter II, 1982) y (Rimstidt, 1997)

Otros minerales como pirita y hematita, detectados en los análisis fisicoquímicos de las muestras de agua, responden a un cambio geoquímico dependiente de las condiciones óxido-reducción del sistema, lo cual suele ser más local (Nordstrom, 2004).

El índice de saturación indica la cercanía o lejanía que un sistema se encuentra del equilibrio con respecto a la formación de cierto mineral y se define como IS (Ecuación 11).Si el IS es igual a 0 la solución se encuentra en equilibrio con el mineral, si el IS>0 existe una sobresaturación del mineral y por tanto comenzará a precipitar hasta alcanzar el equilibrio; y si el IS<0 se define una condición de in-saturación (Drever, 1997).

$$IS = log\frac{a_C^c * a_D^d}{Kps} = log\frac{IAP}{Kps} = \log\Omega$$

Ecuación 11. Fórmula para determinar el índice de saturación de un mineral (García Villanueva, 2023).

Donde:

K_{ps}=producto de solubilidad (ejemplos en la Tabla 2)

Ω=estado de saturación

a_C^c*a_C^c = actividad de los iones del mineral estudiado, obtenidas a partir del análisis químico del agua

IAP= es el producto de las actividades de las especies presentes

Adicionalmente, el término CIC se conoce como la capacidad de intercambio catiónico de las facies arcillosas, se determina en laboratorio mediante métodos estándar y varía en función del tipo de mineral arcilloso (Appelo y Postma, 2005). Los parámetros de intercambio iónico definidos en las simulaciones considerando se adoptaron dentro del rango en la Tabla 3, ajustando las fracciones molares de los sitios activos (KX, CaX_2, MgX_2, NaX) para reproducir la firma catiónica observada en las muestras de agua de formación.

Tabla 3. Capacidad de intercambio iónico reportado en Appelo y Postma (2005) para los minerales de arcilla más comunes.

Mineral de arcilla	Capacidad de Intercambio Catiónico CIC (meq/100g)
Caolinita	3 -15
Ilita	10-40
Clorita	10- 40
Montmorillonita (Esmectita)	80-150
Vermiculita	100 – 150

III. 4. Alteración de hidrocarburos

En un sistema petrolífero, una vez que la roca madre es capaz de generar y expulsar el petróleo, ocurre un proceso de migración desde la roca madre relacionado con los cambios de presión en el medio poroso. Los cambios de presión y temperatura ya dentro del reservorio generan nuevos procesos de migración, a partir de alteraciones en la estructura del hidrocarburo entrampado. En general, existen dos tipos de riesgo de alteración, el primero donde existe una separación entre la fase más liviana y la fase más pesada conocidos como: fraccionamiento evaporativo, craqueo y

desasfaltación y por otro lado el segundo, donde existe una lixiviación o eliminación de la fracción más liviana, conocidos como biodegradación y el lavado por agua (Callejón *et al*., 1998).

El proceso de alteración de los hidrocarburos biodegradación involucra un contexto biológico, donde bacterias metanogénicas consumen los compuestos más livianos del crudo, dejando a atrás la fracción más pesada. El proceso de alteración por lavado por agua guarda relación con la solubilidad de ciertos elementos orgánicos en agua, dejando aquellos con menor solubilidad que suelen ser los de mayor peso molecular. De acuerdo con autores como (Peters y Moldowan, 1993) ambos procesos requieren una condición química específica: temperatura inferior a 80°C y la presencia de aguas terrestres con baja salinidad. Una de las consecuencias más comunes es el levantamiento de la línea base del fragmentograma, constituida por una serie de compuestos ramificados, cíclicos, aromáticos y polares que son bioresistentes, pero que no pueden ser resueltos por la técnica de cromatografía de gases (Peters *et al.*, 2005).

Por ende, el objetivo de esta fase de la investigación es comparar el tipo de facies hidrogeoquímica con la presencia de crudos biodegradados en una temperatura inferior a los 80°C. A fin de que permita validar la hipótesis planteada.

Capítulo IV
Base de Datos Hidrogeoquímica

CAPÍTULO IV. BASE DE DATOS HIDROGEOQUÍMICA

IV. 1. Datos Disponibles

La base de datos generada se compone de análisis fisicoquímicos e isotópicos de muestras de aguas tomadas de las principales cuencas petrolíferas de Venezuela (Figura 15, 1.000 muestras): 149 muestras de la Cuenca Barinas Apure, 69 muestras de la Cuenca de Falcón, 216 muestras de la Cuenca de Maracaibo y 566 muestras de la Cuenca Oriental de Venezuela. Entre todas ellas existen tanto muestras de aguas connatas como muestras de aguas superficiales (ríos o escorrentías).

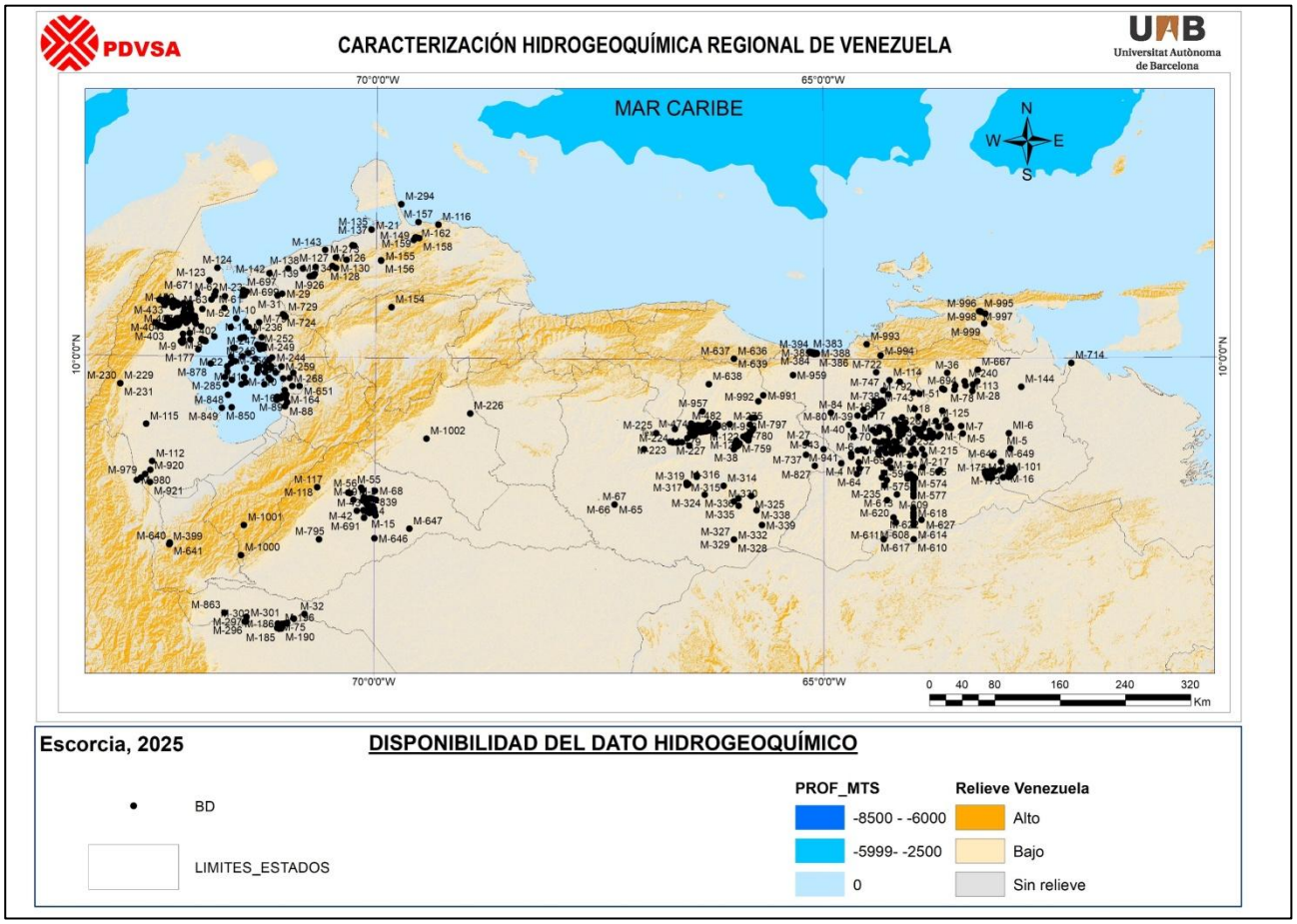


Figura 15. Disponibilidad de análisis químicos de muestras hidrogeoquímicas en pozos petroleros o de escorrentías y ríos, utilizados para la generación de la base de datos compilada de las cuencas Barinas Apure, Maracaibo Falcón y Oriental de Venezuela.

IV. 2. Identificación de datos anómalos

Las aguas naturales se supone que están equilibradas con su entorno, por lo que los cationes y aniones en ella se deben compensar. Hem (1970) estableció que cuando los resultados de un análisis de agua tienen un porcentaje mayor al 10% de diferencia en el balance iónico se deben descartar, pues la configuración de la muestra debe haber perdido componentes (Figura 8 y Ecuación 1). El análisis de los 1.000 datos mencionados anteriormente conllevó a retirar 182 muestras de agua que no cumplían el criterio de un balance iónico con error inferior al 10%, mayormente ubicadas en la Cuenca Barinas Apure (Figura 16).

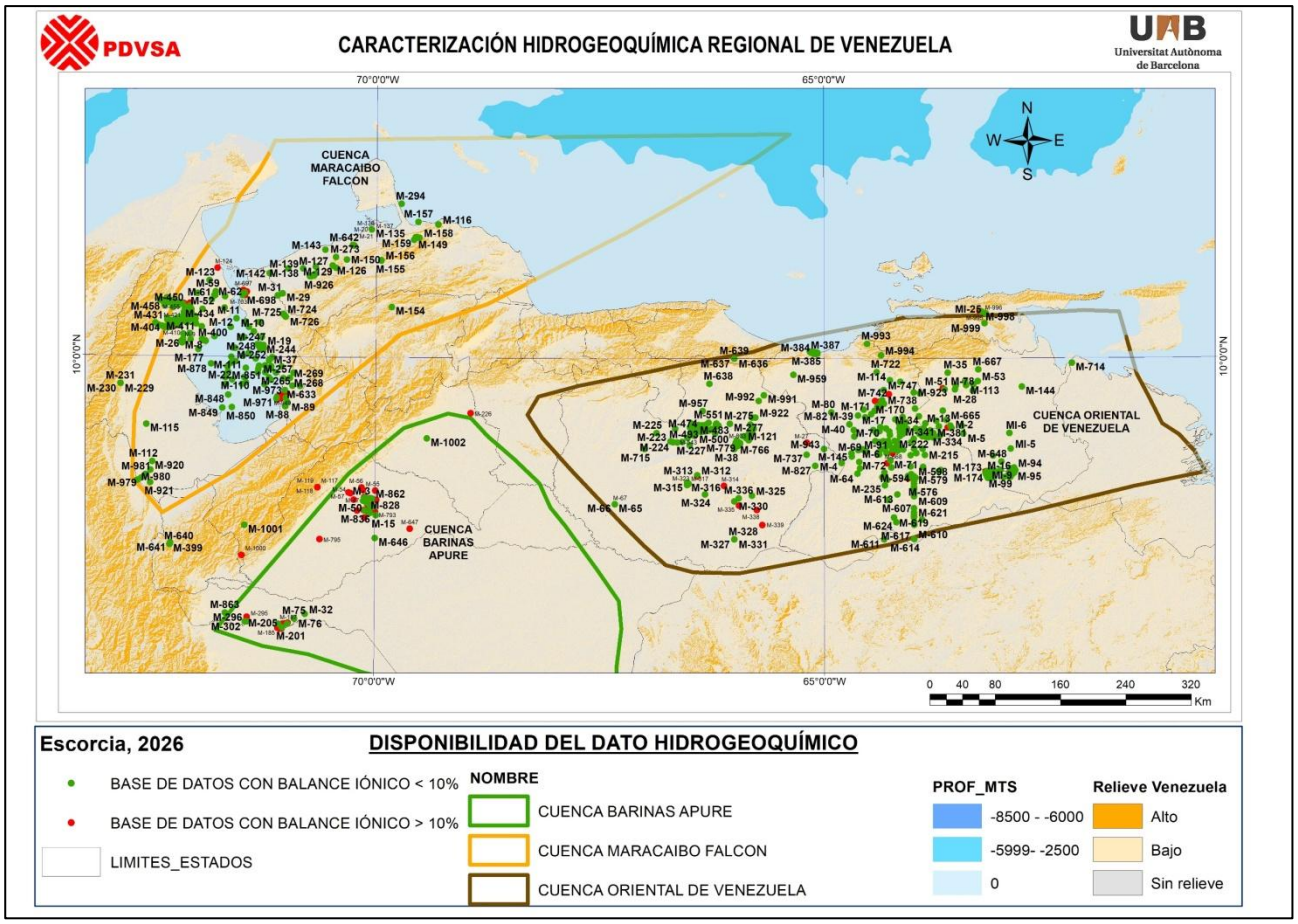


Figura 16. Disponibilidad de análisis fisicoquímicos e isotópicos de muestras hidrogeoquímicas en pozos petroleros o de escorrentías y ríos con un balance iónico inferior (color verde) o superior (color rojo) al 10%, utilizado para la generación de la base de datos válida de las cuencas Barinas Apure, Maracaibo y Oriental de Venezuela en base al criterio de Hem (1970).

IV. 3. Base de Datos Hidrogeoquímica

Los datos recopilados que se ajustan a un balance iónico con una desviación inferior al 10% constituyen las 818 muestras que componen la base de datos hidrogeoquímica de esta

investigación (Figura 17). Son muestras aptas para la caracterización hidrogeoquímica, con una distribución vertical y horizontal acorde con el alcance del estudio (Anexo A).

Se compilaron 818 análisis fisicoquímicos de muestras de agua con análisis de iones mayoritarios (Figura 17, color azul), de los cuales la Cuenca de Maracaibo y Falcón tiene un total de 249 muestras, la Cuenca Barinas Apure tiene un total de 42 muestras y la Cuenca Oriental de Venezuela tiene un total de 527 muestras. Se recopilaron 122 análisis químicos de muestras de agua con análisis de iones minoritarios y trazas compuestos por las siguientes especies: bromuro, nitrato, bario, estroncio, litio, sílice disuelta, aluminio, hierro, manganeso, zinc, cobre, boro, rubidio, lantánidos y actínidos (Figura 17, color verde). Finalmente, existen 53 muestras de isótopos, reportadas como δD (VSMOW), δ^{18}O (VSMOW) y δ^{13}C (VPDB) y exceso de deuterio (Figura 17, color rojo). Toda la recopilación fue compilada en el Anexo B.

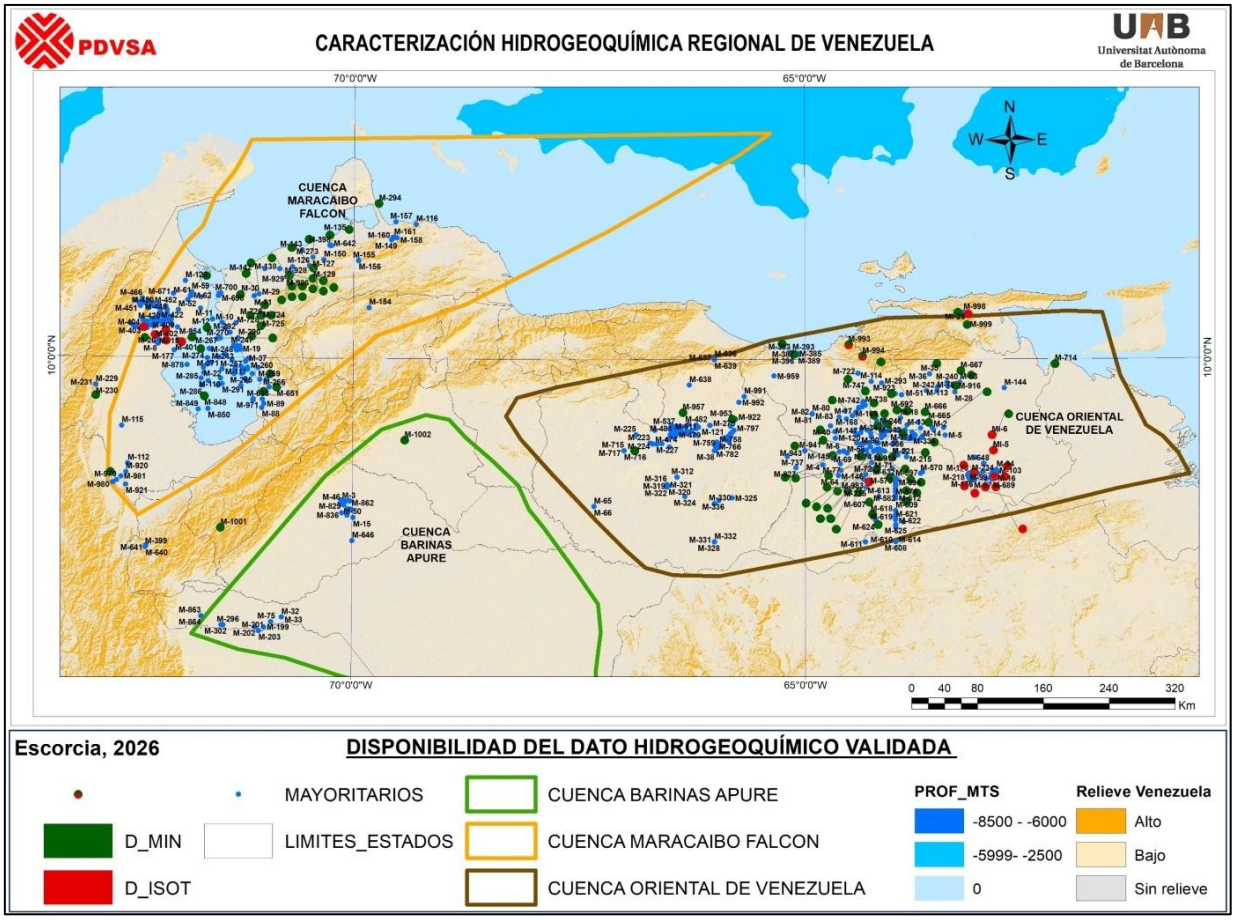


Figura 17. Base de datos hidrogeoquímicos de iones mayoritarios (color azul) iones minoritarios y trazas (color verde) e isótopos (color rojo) que se utilizó durante la investigación. Tomada de muestras de agua en pozos petroleros y de ríos y escorrentías de trabajos previos para las cuencas Barinas Apure, Maracaibo y Oriental de Venezuela.

IV. 3. 1 Generación de las líneas de referencia para el análisis isotópico

En especial para el análisis de isótopos fue necesario establecer las líneas base para realizar la interpretación: la línea meteórica local, la línea de evaporación local y la línea de mezcla con agua de mar. A continuación, se describen los datos utilizados para la determinación y la ecuación establecida en cada uno de los casos. Todos estos datos son adicionales a la base de datos compilada.

La Línea Meteórica Local o LMWL (siglas en inglés) es el resultado de la unión de factores como el clima y cambios en la latitud (Roger, 2022). En Venezuela, para la *International Atomic Energy Agency*, los valores de isótopos se encuentran registrados en la estación de Maracay mediante el reporte GNIP/M/XX/01 en el cual se incluyen 180 datos de precipitación medidos en periodos mensuales desde el año 1961 hasta el año 1975. De acuerdo con la metodología sólo 48 muestras disponen de datos de precipitación y de los isótopos, de las cuales fueron excluidas 7 muestras cuyo volumen de precipitación fue inferior a 20 mmHg y 20 muestras cuyo exceso de deuterio era inferior a 6, consideradas evaporadas (Diamond, 2022). En resumen, se generó la curva LMWL a partir de 29 muestras de agua de precipitación con una ecuación de la curva de $\delta^2H=8{,}6\ \delta^{18}O+13{,}0$ (Figura 18).

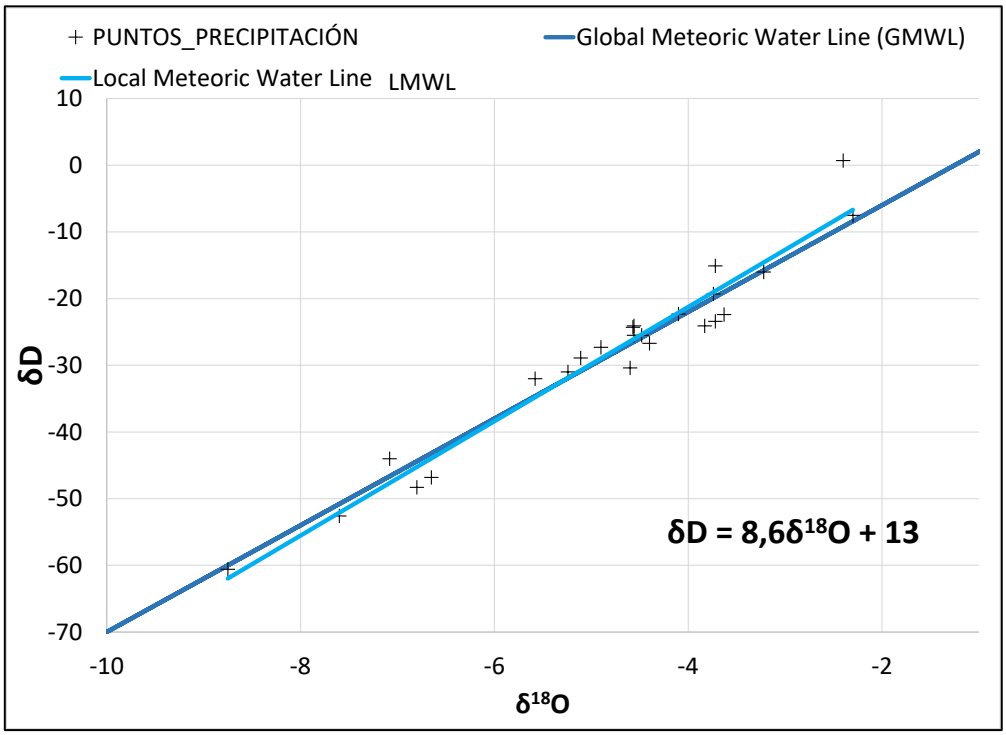


Figura 18. Diagrama δ^2H vs $\delta^{18}O$ con la línea de agua meteórica local (LMWL, en color azul claro, $\delta^2H=8{,}6\ \delta^{18}O+13$) y la línea meteórica global (GMWL, en color azul oscuro, $\delta^2H=8\delta^{18}O+10$). La LMWL ha sido generada partir de la base de datos de la IAEA para Venezuela (símbolos "x" de color negro).

En comparación con la línea meteórica global descrita por Craig (1961), la pendiente de la línea meteórica de Venezuela es ligeramente superior, lo cual indica que las aguas meteóricas de Venezuela están enriquecidas en los isótopos de deuterio en relación con el promedio global. Algunas de las causas posibles son unas condiciones de evaporación más intensas o procesos de reciclaje de humedad. El exceso de deuterio es 3 puntos por encima del promedio mundial por lo cual podría indicar masas de aire con origen en océanos cálidos, donde la evaporación es vigorosa o una baja humedad relativa.

Para la línea de evaporación se predefinieron una serie de parámetros de acuerdo con lo descrito en la metodología (Ecuación 3-Figura 13)

- En primer lugar, el río con mayor caudal y cauce de Venezuela es el Río Orinoco (INAMEH, 2025) y de acuerdo con la información de la *International Atomic Energy Agency*, los valores de isótopos en el reporte GNIP/M/XX/01 para el Río Orinoco en promedio son $\delta^{18}O$=-5,9‰ y $\delta^{2}H$=-36,6‰ utilizados como los datos isotópicos del cuerpo de agua de entrada. Es decir, el punto común entre ambas curvas.

- En segundo lugar, el factor de enriquecimiento máximo teórico para Deuterio y Oxígeno 18. Expresado en partes por mil ‰ y de acuerdo con referencias mundiales es de $\delta^{18}O$=28,5‰y $\delta^{2}H$=25,1‰ (Gat, 2010).

- En tercer lugar, la temperatura en la superficie promedio en Venezuela, de acuerdo con INAMEH (2024) es reportada en 27°C o 300,15 K.

- En cuarto lugar, el factor θ, que refleja la influencia de la evaporación en el vapor de agua de la zona, tiene el valor de 1 en cuerpos de aguas pequeños como lagunas y mayores a 1 masas de aguas de gran volumen. En climas tropicales podría estar hasta 0,8 (INAMEH, 2024). Mientras mayor es el número mayor es la turbulencia.

- En quinto lugar, el factor n refleja el régimen aerodinámico: 0,5 para cuerpos de agua con mucha fluidez y 1 para cuerpos de agua con alta evaporación como suelos desérticos. En Venezuela existen lugares como el Lago de Maracaibo con alta evaporación, donde se consideró un valor de 0,8 (INAMEH, 2024). Sin embargo, es más común los cuerpos de agua con una buena corriente de fluidez, considerada por tanto en 0,5 en la Cuenca Oriental.

- En sexto y último lugar, la humedad relativa fue determinada en función de los datos reportados en INAMEH (2024) como curvas de humedad relativa tomadas en las localidades de medición más cercanas a las muestras isotópicas disponibles (Tabla 4). El rango de humedad relativa

para la Cuenca de Maracaibo se ubica entre 62 y 80% mientras que en la Cuenca Oriental se ubica entre 66 y 77%. Para la estimación se consideraron ambos escenarios.

Tabla 4. Datos de humedad relativa en las localidades más cercanas a los puntos de muestras isotópicas disponibles según INAMEH (2024).

ESTADO	Localizaciones de muestreo	%Humedad	
		%Humedad relativa mínimo	%Humedad relativa máximo
ANZOÁTEGUI	Barcelona	70,5	76,5
	La Corcovada	68,6	76,8
	El Tigre	66,4	73,5
	Musinación	65,9	72,8
ZULIA	El Carbón	62,2	72,2
	Maracaibo	68	75
	Machiques	64,5	72,9
	Canal VOC	75,2	79,8
	Santa Bárbara del Zulia	75,8	77,4
	Mene Grande	72	79

A partir de la metodología propuesta, se realizó la estimación de dos líneas de evaporación local, una para la Cuenca de Maracaibo y otra para la Cuenca Oriental, se consideraron dos escenarios de acuerdo con el %humedad para cada cuenca. No obstante, el factor de fraccionamiento en equilibrio (α^{eq}) a utilizar es el mismo en ambos casos.

Para el caso de una temperatura de 27 °C equivalentes a 300,15K, la estimación sería

$$\propto_{18O}^{eq} = e^{\left(\frac{A_{isótopo\ pesado}}{T^2} + \frac{B_{isótopo\ pesado}}{T} + C_{18}\right)} = e^{\left(\frac{1137}{(300,15)^2} + \frac{-0,4156}{300,15} - 0,00207\right)} = e^{(0,00917)} = 1,01$$

Ecuación 12. Procedimiento matemático para determinar el factor de fraccionamiento en equilibrio del oxígeno ($\alpha^{eq\,18}O$) para 27°C.

$$\varepsilon_{eq}^{18O} = (\propto_{eq}^{18O} - 1) * 1000 = ((1,01-1) * 1000) = 9,25$$

Ecuación 13. Procedimiento matemático para determinar el factor de enriquecimiento termodinámico para oxígeno (Gonfiantini, 1986).

$$\propto_{2H}^{eq} = e^{\left(\frac{A_D}{T^2} + \frac{B_D}{T} + C_D\right)} = e^{\left(\frac{28444}{(300,15)^2} + \frac{-76,248}{300,15} + 0,05261\right)} = e^{(0,32-0,26+0,053)} = e^{(0,11)} = 1,12$$

Ecuación 14. Procedimiento matemático para determinar el factor de fraccionamiento en equilibrio del deuterio ($\propto_{eq}^{2H}$) para 27°C.

$$\varepsilon_{eq}^{2H} = (\propto_{eq}^{2H} - 1) * 1000 = (1,12-1) * 1000 = 121,1$$

Ecuación 15. Procedimiento matemático para determinar el factor de enriquecimiento termodinámico para deuterio (Gonfiantini, 1986).

Línea de Evaporación Local para la Cuenca de Maracaibo

El primer cálculo sería el factor de enriquecimiento cinético (ε_k), luego la estimación de la pendiente (s) y del intercepto (d).

- Con %humedad relativa del 62%,

$$\varepsilon_k{}^{18}O = (1-h) * \theta * n * \varepsilon_{max}{}^{18}O = (1-0{,}62) * 0{,}8 * 0{,}8 * 28{,}5‰ = 6{,}93\ ‰$$

$$\varepsilon_k{}^{2}H = (1-h) * \theta * n * \varepsilon_{max}{}^{2}H = (1-0{,}62) * 0{,}8 * 0{,}8 * 25{,}1‰ = 6{,}10\ ‰$$

Ecuación 16. Procedimiento matemático para determinar el factor de enriquecimiento cinéticode^{18}O y ^{2}H para la Cuenca de Maracaibo con un %humedad relativa del 62% (Craig y Gordon, 1965).

$$S = \frac{\left(\left(\varepsilon_{eq}^{2}H + \frac{\varepsilon_k^2 H}{(1-h)}\right)\right)}{\left(\left(\varepsilon_{eq}^{18}O + \frac{\varepsilon_k^{18} O}{(1-h)}\right)\right)} = \frac{\left(\left(121{,}1 + \frac{6{,}10\ ‰}{(1-0{,}62)}\right)\right)}{\left(\left(9{,}25 + \frac{6{,}93‰}{(1-0{,}62)}\right)\right)} = \frac{137{,}16}{22{,}45} = 5{,}00$$

Ecuación 17. Procedimiento matemático para determinar la pendiente de la línea de evaporación (Craig y Gordon, 1965) para la Cuenca de Maracaibo con un %humedad relativa del 62%.

$$d = \delta^2 H_{determinado\ del\ río\ Orinoco\ con\ la\ LML} - (S * \delta^{18}O_{tomado\ del\ río\ Orinoco})$$

$$d = -37.524 - \left(5{,}00 * (-5{,}9)\right) = -8{,}04$$

Ecuación 18. Procedimiento matemático para determinar el intercepto de la línea de evaporación (Gat, 1996) para la Cuenca de Maracaibo con un %humedad relativa del 62%.

- Con %humedad relativa del 80%

$$\varepsilon_k{}^{18}O = (1-h) * \theta * n * \varepsilon_{max}{}^{18}O = (1-0{,}8) * 1{,}25 * 0{,}8 * 28{,}5‰ = 3{,}65\ ‰$$

$$\varepsilon_k{}^{2}H = (1-h) * \theta * n * \varepsilon_{max}{}^{2}H = (1-0{,}8) * 1{,}25 * 0{,}8 * 25{,}1‰ = 3{,}21\ ‰$$

Ecuación 19. Procedimiento matemático para determinar el factor de enriquecimiento cinético ^{18}O y ^{2}H para la Cuenca de Maracaibo con un %humedad relativa del 80% (Craig y Gordon, 1965)

$$S = \frac{\left(\left(\varepsilon_{eq}^{2}H + \frac{\varepsilon_{k}^{2}H}{(1-h)}\right)\right)}{\left(\left(\varepsilon_{eq}^{18}O + \frac{\varepsilon_{k}^{18}O}{(1-h)}\right)\right)} = \frac{\left(\left(121{,}1 + \frac{3{,}21‰}{(1-0{,}8)}\right)\right)}{\left(\left(9{,}25 + \frac{3{,}65‰}{(1-0{,}8)}\right)\right)} = \frac{137{,}16}{27{,}45} = 5{,}00$$

Ecuación 20. Procedimiento matemático para determinar la pendiente de la línea de evaporación (Craig y Gordon, 1965) para la Cuenca de Maracaibo con un %humedad relativa del 80%.

$$d = \delta^{2}H_{determinado\ del\ río\ Orinoco\ con\ la\ LML} - (s * \delta^{18}O_{tomado\ del\ río\ Orinoco})$$

$$d = -37{,}52 - \left(5{,}00 * (-5{,}9)\right) = -8{,}04$$

Ecuación 21. Procedimiento matemático para determinar el intercepto de la línea de evaporación (Gat, 1996) para la Cuenca de Maracaibo con un %humedad relativa del 80%.

Línea de Evaporación Local para la Cuenca Oriental

El primer cálculo sería el factor de enriquecimiento cinético (ε_k), luego la estimación de la pendiente (s) y del intercepto (d).

- Con %humedad relativa del 66%

$$\varepsilon_k{}^{18}O = (1-h) * \theta * n * \varepsilon_{max}{}^{18}O = (1-0{,}66) * 0{,}8 * 0{,}5 * 28{,}5‰ = 3{,}88\ ‰$$

$$\varepsilon_k{}^{2}H = (1-h) * \theta * n * \varepsilon_{max}{}^{2}H = (1-0{,}66) * 0{,}8 * 0{,}5 * 25{,}1‰ = 3{,}41\ ‰$$

Ecuación 22. Procedimiento matemático para determinar el factor de enriquecimiento cinético ^{18}O y ^{2}H para la Cuenca Oriental con un %humedad relativa del 66% (Craig y Gordon, 1965).

$$S = \frac{\left(\left(\varepsilon_{eq}^{2}H + \frac{\varepsilon_{k}^{2}H}{(1-h)}\right)\right)}{\left(\left(\varepsilon_{eq}^{18}O + \frac{\varepsilon_{k}^{18}O}{(1-h)}\right)\right)} = \frac{\left(\left(121{,}1 + \frac{3{,}41‰}{(1-0{,}66)}\right)\right)}{\left(\left(9{,}25 + \frac{3{,}88\ ‰}{(1-0{,}66)}\right)\right)} = \frac{131{,}13}{20{,}61} = 6{,}36$$

Ecuación 23. Procedimiento matemático para determinar la pendiente de la línea de evaporación (Craig y Gordon, 1965) para la Cuenca Oriental con un %humedad relativa del 66%.

$$d = \delta^{2}H_{determinado\ del\ río\ Orinoco\ con\ la\ LML} - (s * \delta^{18}O_{tomado\ del\ río\ Orinoco})$$

$$d = -37{,}52 - \left(6{,}36 * (-5{,}9)\right) = 0{,}02$$

Ecuación 24. Procedimiento matemático para determinar el intercepto de la línea de evaporación (Gat, 1996) para la Cuenca Oriental con un %humedad relativa del 66%.

Con %humedad relativa del 77%

$$\varepsilon_k{}^{18}O = (1-h) * \theta * n * \varepsilon_{max}{}^{18}O = (1-0{,}77) * 0{,}8 * 0{,}5 * 28{,}5‰ = 2{,}62\ ‰$$

$$\varepsilon_k{}^{2}H = (1-h) * \theta * n * \varepsilon_{max}{}^{2}H = (1-0{,}77) * 0{,}8 * 0{,}5 * 25{,}1‰ = 2{,}31‰$$

Ecuación 25. Procedimiento matemático para determinar el factor de enriquecimiento cinético ^{18}O y ^{2}H para la Cuenca Oriental con un %humedad relativa del 77% (Craig y Gordon, 1965).

$$S = \frac{\left(\left(\varepsilon_{eq}^{2}H + \frac{\varepsilon_k^2 H}{(1-h)}\right)\right)}{\left(\left(\varepsilon_{eq}^{18}O + \frac{\varepsilon_k^{18} O}{(1-h)}\right)\right)} = \frac{\left(\left(121{,}1 + \frac{2{,}31‰}{(1-0{,}77)}\right)\right)}{\left(\left(9{,}25 + \frac{2{,}62‰}{(1-0{,}77)}\right)\right)} = \frac{131{,}13}{20{,}61} = 6{,}36$$

Ecuación 26. Procedimiento matemático para determinar la pendiente de la línea de evaporación (Craig y Gordon, 1965) para la Cuenca Oriental con un %humedad relativa del 77%.

$$d = \delta^2 H_{determinado\ del\ río\ Orinoco\ con\ la\ LML} - (s * \delta^{18} O_{tomado\ del\ río\ Orinoco})$$

$$d = -37.52 - \left(6{,}36 * (-5{,}9)\right) = 0{,}02$$

Ecuación 27. Procedimiento matemático para determinar el intercepto de la línea de evaporación (Gat, 1996) para la Cuenca Oriental con un %humedad relativa del 77%.

Un resumen de las estimaciones realizadas se encuentra en la Tabla 5. Nótese que a pesar de los cambios en el porcentaje de humedad la pendiente y el intercepto de la curva se mantienen.

Tabla 5. Resumen de la estimación de la línea de evaporación local (LLML) para la Cuenca de Maracaibo y Cuenca Oriental de Venezuela, en base a la información disponible.

Cuenca	%Humedad relativa	Pendiente (s)	Intercepto (d)	Ecuación de la recta
Maracaibo	62	5,0	-8,0	$\delta^2 H = (5{,}0 * \delta^{18} O) - 8$
	80	5,0	-8,0	$\delta^2 H = (5{,}0 * \delta^{18} O) - 8$
Oriental	66	6,4	0,0	$\delta^2 H = (6{,}4 * \delta^{18} O) + 0$
	77	6,4	0,0	$\delta^2 H = (6{,}4 * \delta^{18} O) + 0$

Por último, la línea de mezcla se construyó a partir de la unión porcentual de las composiciones absolutas del agua meteórica y el agua de mar. Para el caso del agua meteórica se consideró una muestra de precipitación, a partir de la ecuación de la recta para la línea meteórica local. Para el caso del agua de mar, siendo el punto de referencia de los isótopos, tiene un valor de 0 ‰. Los puntos de la curva se ubican en Tabla 6.

Tabla 6. Puntos de la curva utilizados para la línea de mezcla entre agua meteórica (agua de lluvia) y agua de mar.

Agua de Mezcla	$\delta^{18}O$ (‰)	$\delta^{2}H$ (‰)
Agua de Mar (AM, 100%)	0	0
AM 90%-LL 10%	-6,84	-47,34
AM 80%-LL 20%	-6,08	-42,08
AM 70%-LL 30%	-5,32	-36,82
AM 60%-LL 40%	-4,56	-31,56
AM 50%-LL 50%	-3,8	-26,3
AM 40%-LL 60%	-3,04	-21,04
AM 30%-LL 70%	-2,28	-15,78
AM 20%-LL 80%	-1,52	-10,52
AM 10%-LL 90%	-0,76	-5,26
Agua de Lluvia (LL, 100%)	-7,6	-52,6

Capítulo V
Caracterización Hidrogeoquímica

CAPÍTULO V. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA

El objetivo del capítulo de caracterización hidrogeoquímica es utilizar las herramientas de agrupación descritas en la metodología en cada una de las muestras de la base de datos (Hem, 1970; Piper, 1944; Schoeller, 1977; Stiff, 1951; Sulin, 1946, análisis de elementos mayoritarios, minoritarios, trazas y análisis isotópico). El resultado sería la caracterización de facies hidrogeoquímicas separadas en función de: ubicación geográfica, profundidad a la que fue tomada la muestra y Unidad Depositacional. Se utilizará dentro de los gráficos y en lo posible dentro de los mapas, una nomenclatura única que se basa en la Unidad Depositacional en la cual fue tomada la muestra y el rango de profundidad en la que se tomó (Figura 19).

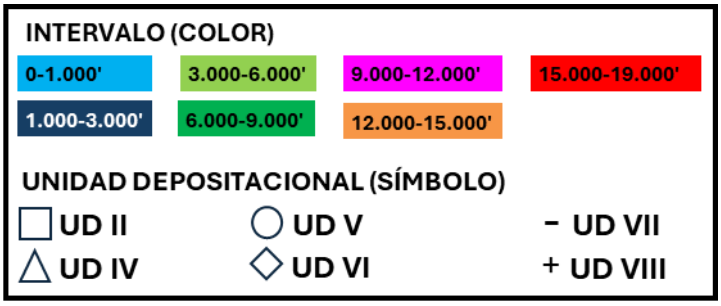


Figura 19. Simbología por utilizar para la caracterización hidrogeoquímica de Venezuela en base al rango de profundidad a la cual fue tomada la muestra y la Unidad Depositacional equivalente. Los colores de los símbolos muestran el intervalo de profundidad a la cual fue tomada la muestra: 0-1.000 pies en color azul claro, 1.000-3.000 pies en color azul oscuro, 3.000-6.000 pies en color verde claro, 6.000-9.000 pies en color verde oscuro, 9.000-12.000 pies en color fucsia y 12.000-15.000 pies en color naranja y 15.000-19.000 pies en color rojo. El tipo de símbolos se relacionan con las UD con la cual se podrían asociar las formaciones geológicas: UDII con cuadrado, UDIV con triángulo, UDV con círculo, UDVI con símbolo rombo, UDVII con símbolo guion y UDVIII con símbolo más).

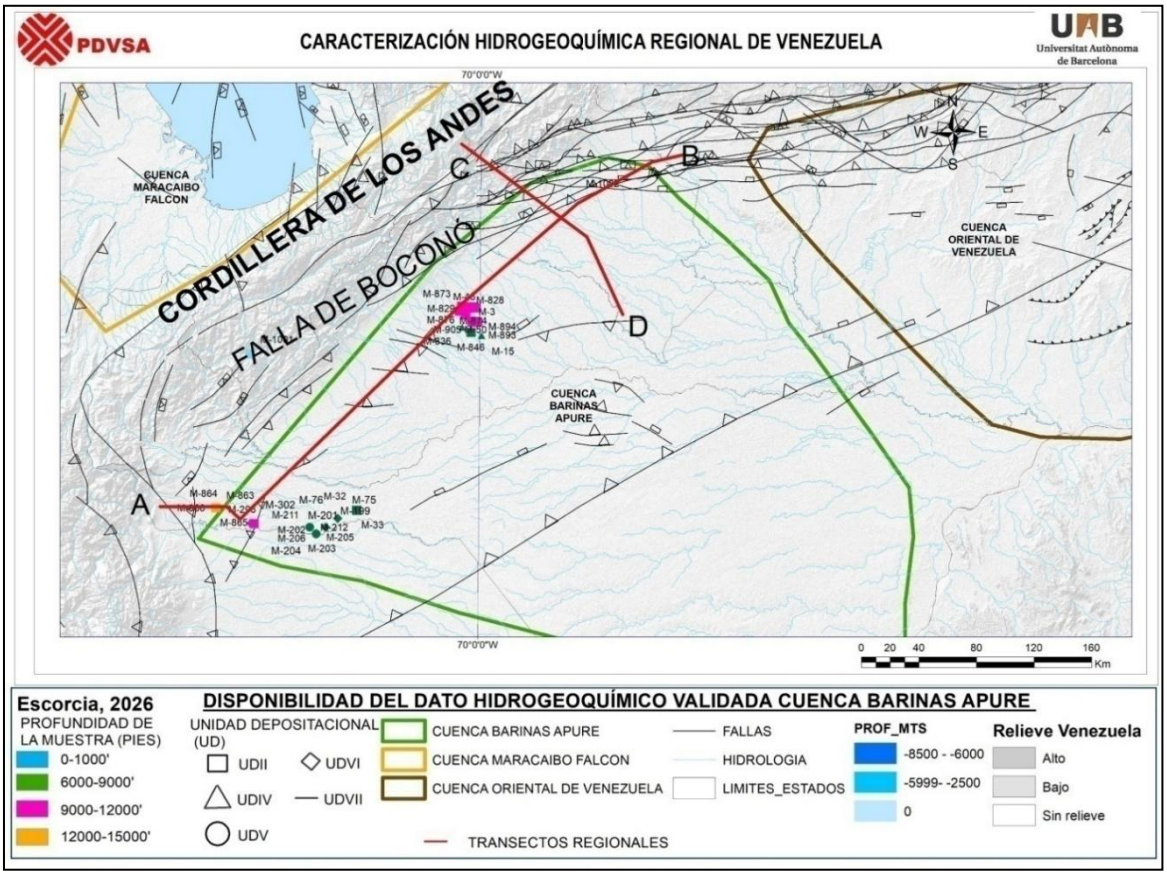
El resultado del análisis es conocer la presencia, composición y distribución vertical y horizontal de las facies hidrogeoquímicas de Venezuela y establecer una posible correlación entre la composición y tipo de muestras de agua en relación con los principales elementos estructurales, dos de los objetivos específicos planteados en esta investigación.

V. 1. Cuenca Barinas Apure

La Cuenca Barinas Apure tiene un registro sedimentario con depósitos desde la era del Paleozoico al Cenozoico. Las 42 muestras de agua disponibles para esta investigación se encuentran ubicadas en intervalos de profundidades desde 0 hasta 15.000 pies (0 a 6.000 metros) con formaciones geológicas equivalentes a las unidades depositacionales UDII, UDIV, UDV, UDVI y UDVII con edades de depositación desde la época del Cretácico Temprano al Mioceno (Figura 20).

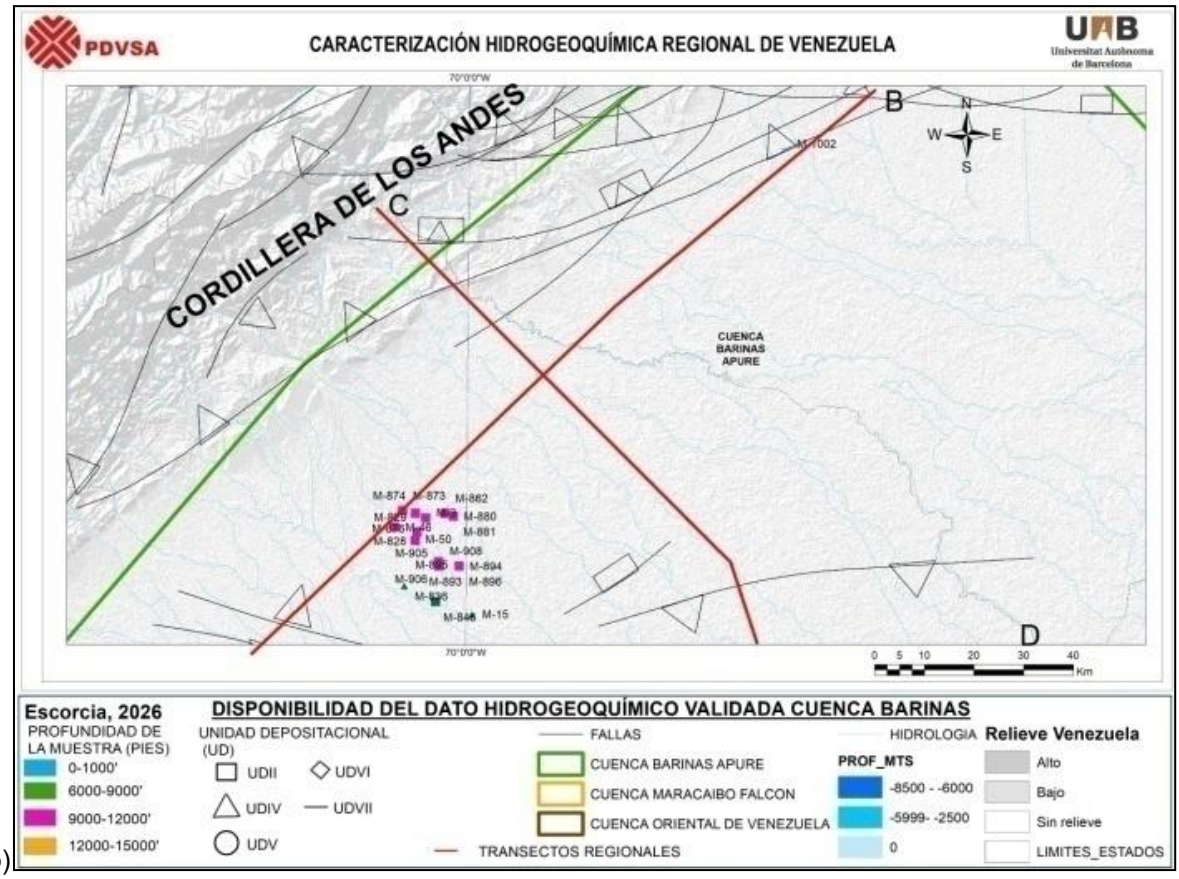
La Cuenca Barinas Apure tiene un importante alto topográfico al noroeste conocido como la Cordillera de los Andes con altura máxima cercana a los 5.000 metros sobre el nivel del mar desde la cual se genera gran parte de los ríos y escorrentías de la zona (Figura 20). Desde el punto de vista de aporte de agua meteórica es la que presenta los mayores volúmenes en los cauces de los ríos y en volúmenes de precipitación anual (INAMEH, 2025). Para una mejor comprensión de los procesos hidrogeoquímicos que pueden estar ocurriendo, la Tabla 7 muestra los posibles iones que se pudieran estar liberando en la interacción roca-agua, de acuerdo con las litologías que componen las rocas de cada Unidad Depositacional.

Desde el punto de vista estructural existen fallas normales e inversas activas, las más antiguas se encuentran al este de la cuenca generadas desde el periodo Precámbrico con la fase de margen activo de una tectonosecuencia previa, y las más recientes al noroeste de la cuenca, activas desde la época del Mioceno con el levantamiento de la Cordillera de los Andes y con un mayor salto de falla inversa.



a)

b)



c)

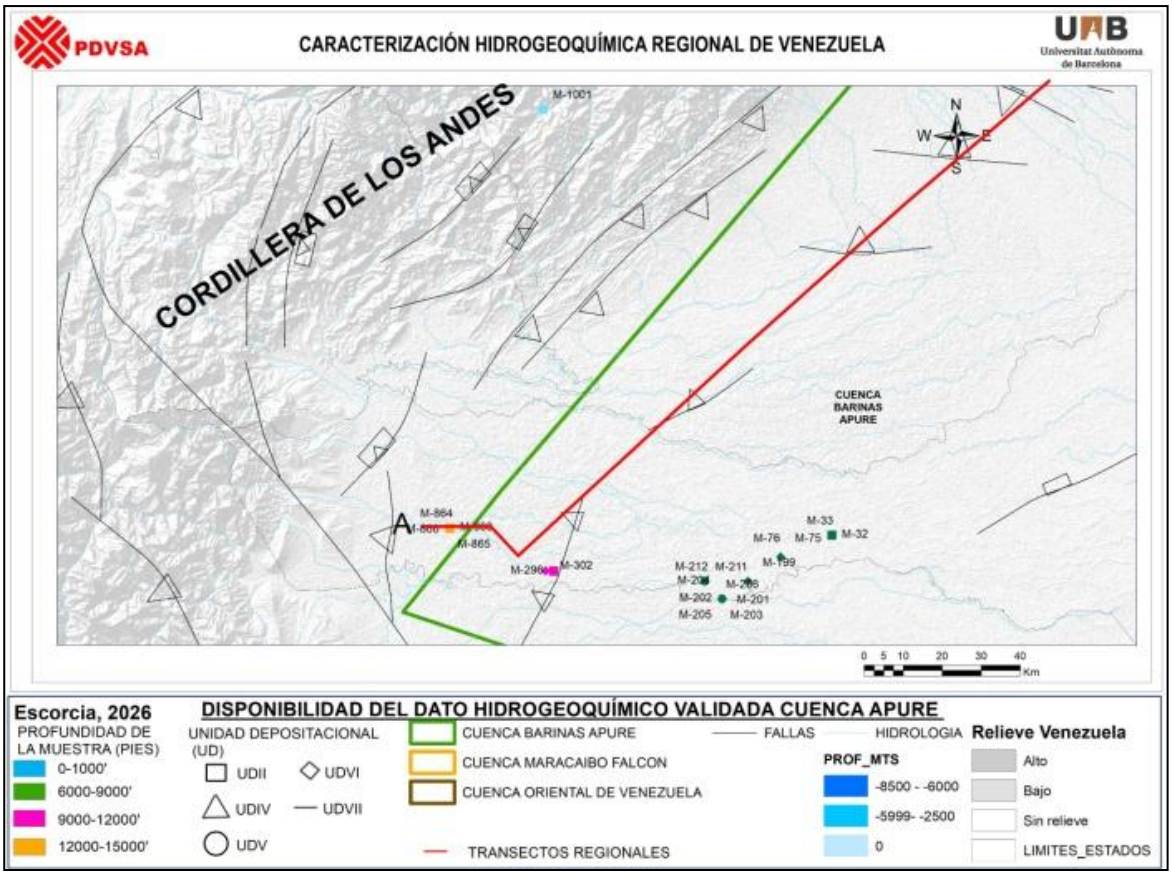


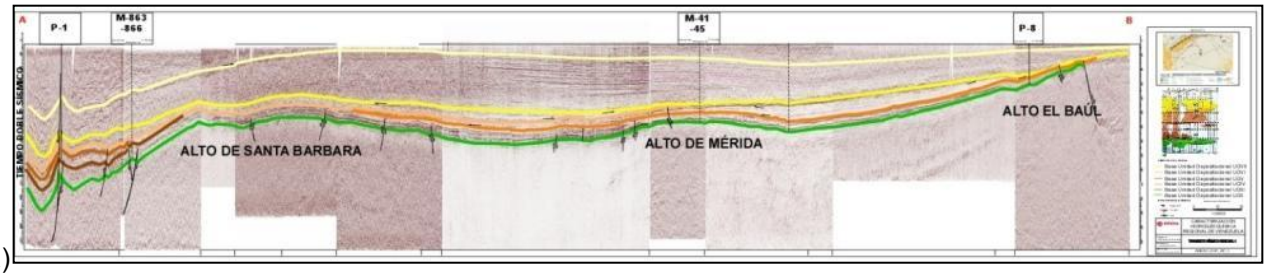
Figura 20. Mapa de localización de datos hidrogeoquímicos validados de la Cuenca Barinas Apure con los principales elementos estructurales e hidrogeografía regional. Los colores y el tipo de los

símbolos son los descritos en la Figura 19. Las líneas de color rojo representan la dirección de los transectos regionales en la Figura 21. a) Mapa con la localización de las muestras de agua con datos hidrogeoquímicos para la Cuenca Barinas Apure b) Mapa con la localización de las muestras de agua con datos hidrogeoquímicos para la Subcuenca de Barinas y c) Mapa con la localización de las muestras de agua con datos hidrogeoquímicos para la Subcuenca de Apure.

Tabla 7. Identificación de los iones mayoritarios que se pueden aportar en el intercambio iónico entre roca y agua en la Cuenca Barinas Apure (++): debe aportar presencia en el medio (+): posiblemente aporta presencia al medio y (-): no aporta presencia al medio.

Formación	Litología	Iones que puede aportar al medio							UD
		Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^- $+CO_3^{2-}$	
Burguita	Areniscas micáceas limolíticas (glauconítas, calcáreas, ftanita, caliza conchífera)	(+)	(++)	(++)	(+)	(-)	(-)	(++)	UDII
Escandalosa	Areniscas intercaladas lutitas negras piríticas y sedimentos carbonáceos	(+)	(++)	(+)	(+)	(++)	(-)	(++)	
Navay	Areniscas fosfáticas calcáreas a siliceas	(+)	(++)	(++)	(+)	(+)	(+)	(++)	
Gobernador	Areniscas cuarzosas y lutitas carbonáceas	(+)	(++)	(++)	(+)	(-)	(-)	(++)	UDIV
Carbonera	Arcilitas y lutitas areniscas arcillosas y capas de lignitos y calizas	(+)	(++)	(++)	(+)	(-)	(-)	(++)	UDV
Guafita	Areniscas de matriz arcillosa-caolinítica con restos de plantas.	(+)	(++)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	UDVI
	Lutitas generalmente gradadas a carbonosas y lignitos. Arcillitas abigarradas y manchadas de óxido de hierro. Un 20% caolinitas.	(+)	(+)	(++)	(+)	(-)	(-)	(+)	

El análisis tectonoestratigráfico de la Cuenca Barinas Apure ha sido generado por trabajos previos. La Figura 21 modificada de Cordero *et al*. (2006) y Santiago *et al*. (2014) es una visualización de los principales elementos estructurales y sedimentarios de la Cuenca Barinas Apure en base a lo descrito en el marco geológico, nótese que en los cortes NO-SE hacia la Cordillera de los Andes el buzamiento de los sedimentos se incrementa de forma exponencial, facilitando el contacto de litologías más profundas con la hidrogeología de la superficie.

a) 

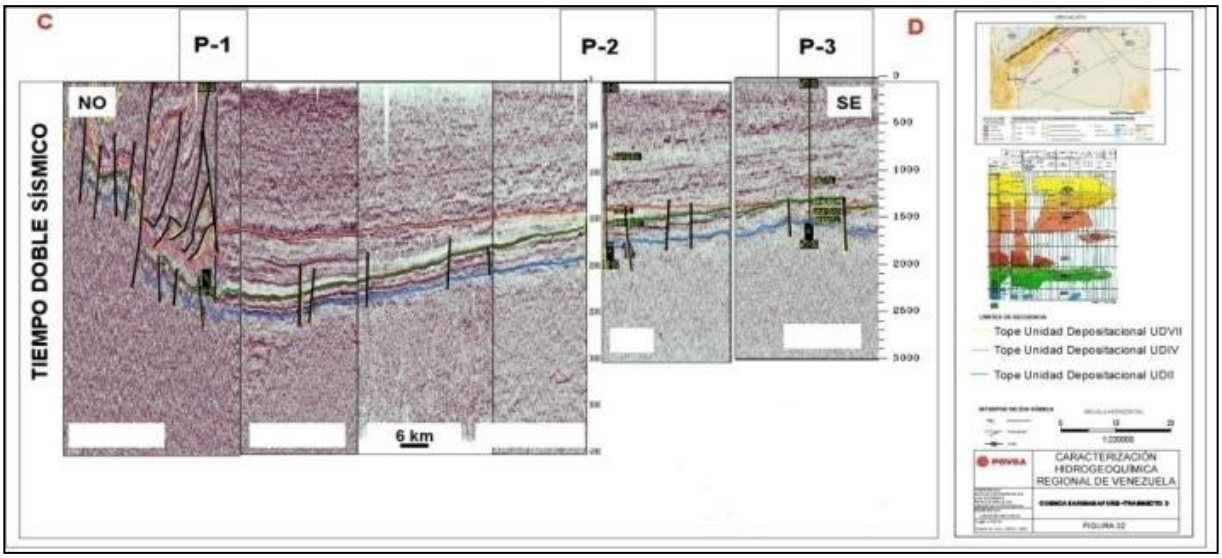
b) 

Figura 21. Transectos regionales de la Cuenca Barinas Apure que muestran los principales elementos estructurales del área y cuáles son los reservorios que pudiera presentar una inclusión de aguas meteóricas desde superficie. a) Transecto NO-SE (modificado de Santiago *et al*., 2014) y b) Transecto NO-SE (tomado de Cordero *et al*., 2006).

V. 1. 1 Sólidos disueltos totales y clasificación de (Hem, 1970)

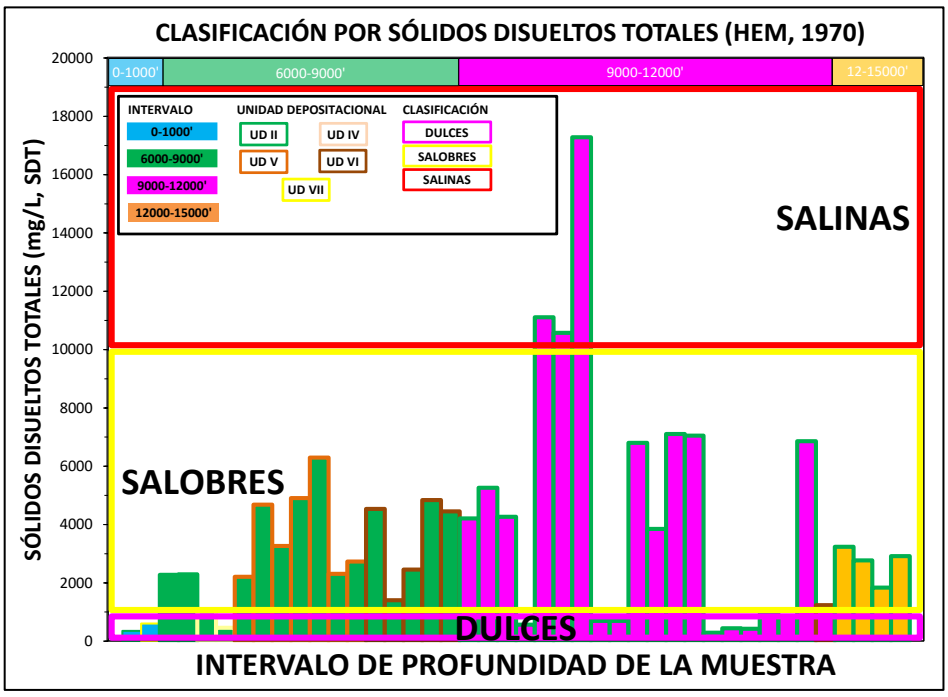
En base a la cantidad de sólidos disueltos (SDT), en un rango de 293 a 17284mg/L, las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure se consideran aguas dulces (11 muestras), aguas salobres (28 muestras) y aguas salinas (3 muestras) de acuerdo con Hem (1970). Las diferencias se podrían relacionar con los iones en el medio que aporta la litología presente (Figura 22,Tabla 10). Los puntos que cabe resaltar se explican a continuación.

- Las muestras clasificadas como agua dulce (rectángulo de borde rosa en la Figura 22), ubicadas en la Cuenca de Barinas, son una posible respuesta a la infiltración de agua meteórica en los sedimentos, probable, considerando que las litologías asociadas a los depósitos de aproximadamente los primeros 5.000 pies son clásticos gruesos con cementos de material ferruginoso y lentes de arcillas dispersos con una alta porosidad y permeabilidad.

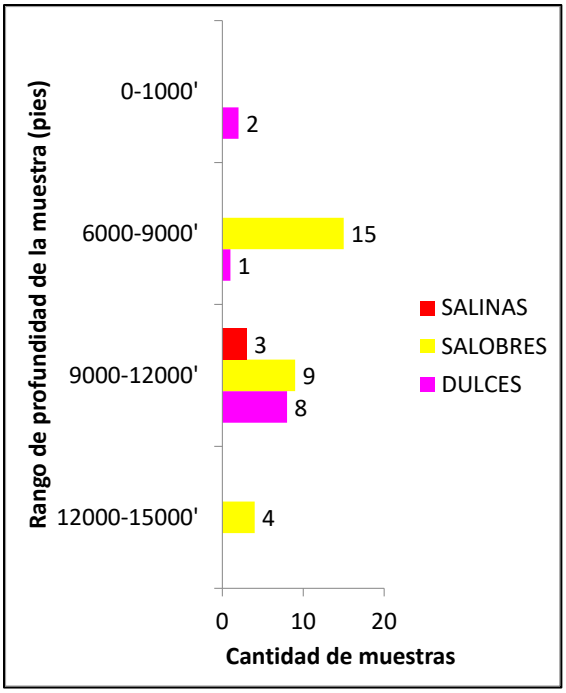
- Las muestras en el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (banda superior de color verde en la Figura 22) y de 12.000 a 15.000 (banda superior de color naranja en la Figura 22) son muestras salobres (rectángulo de borde amarillo en la Figura 22). Adicionalmente, existe una concentración baja en el intervalo de profundidad de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros) de profundidad, en las muestras M-863/M-866, área que presenta fallas inversas con alto buzamiento que llegan a superficie (Figura 21).

- En intervalos de profundidad entre 9.000 a 12.000 (banda superior de color fucsia en la Figura 22) las muestras se mantienen con una concentración dulce a salobre que pudiera ser una respuesta a un proceso de mezcla con las mayores concentraciones en las muestras salinas

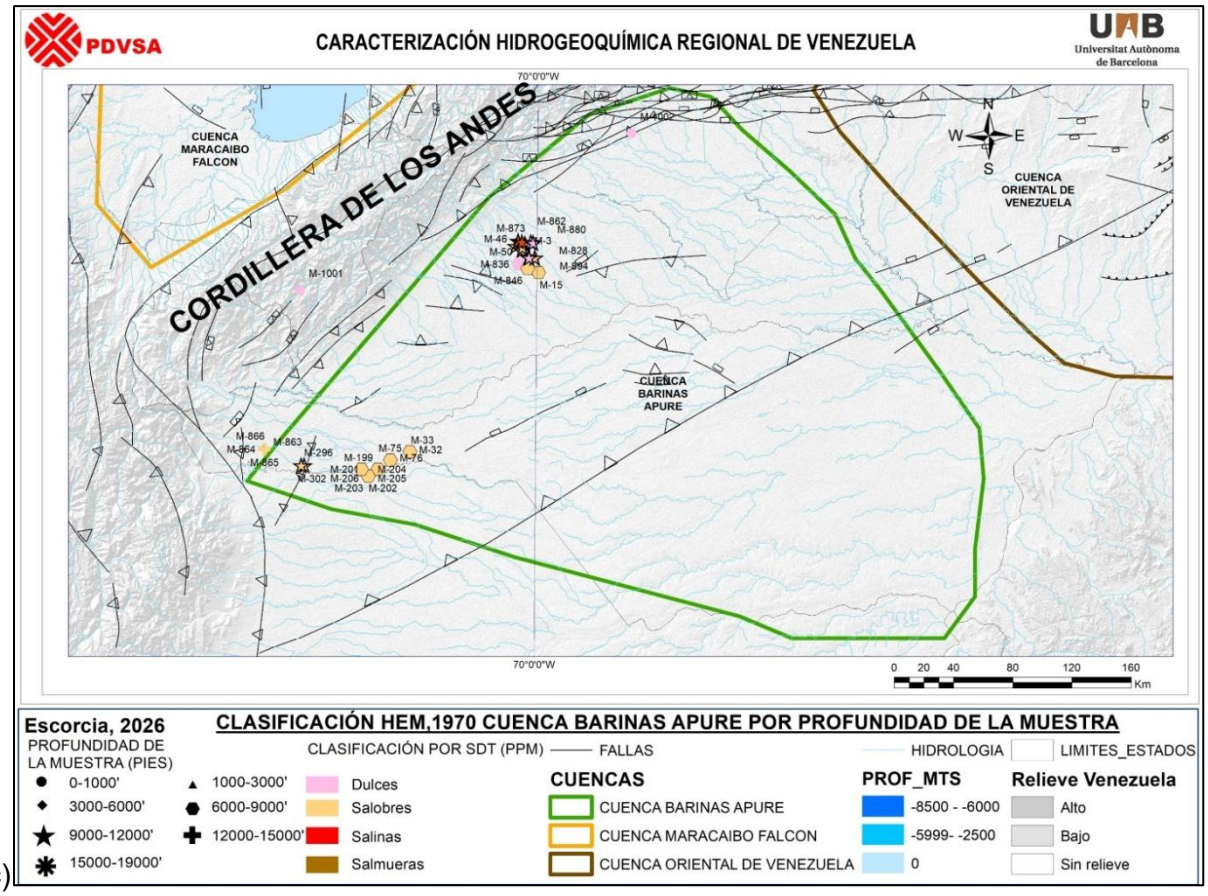
(rectángulo de borde rojo en la Figura 22) tomadas en formaciones equivalentes a la UDIV (M-873, M-874 y M-876).



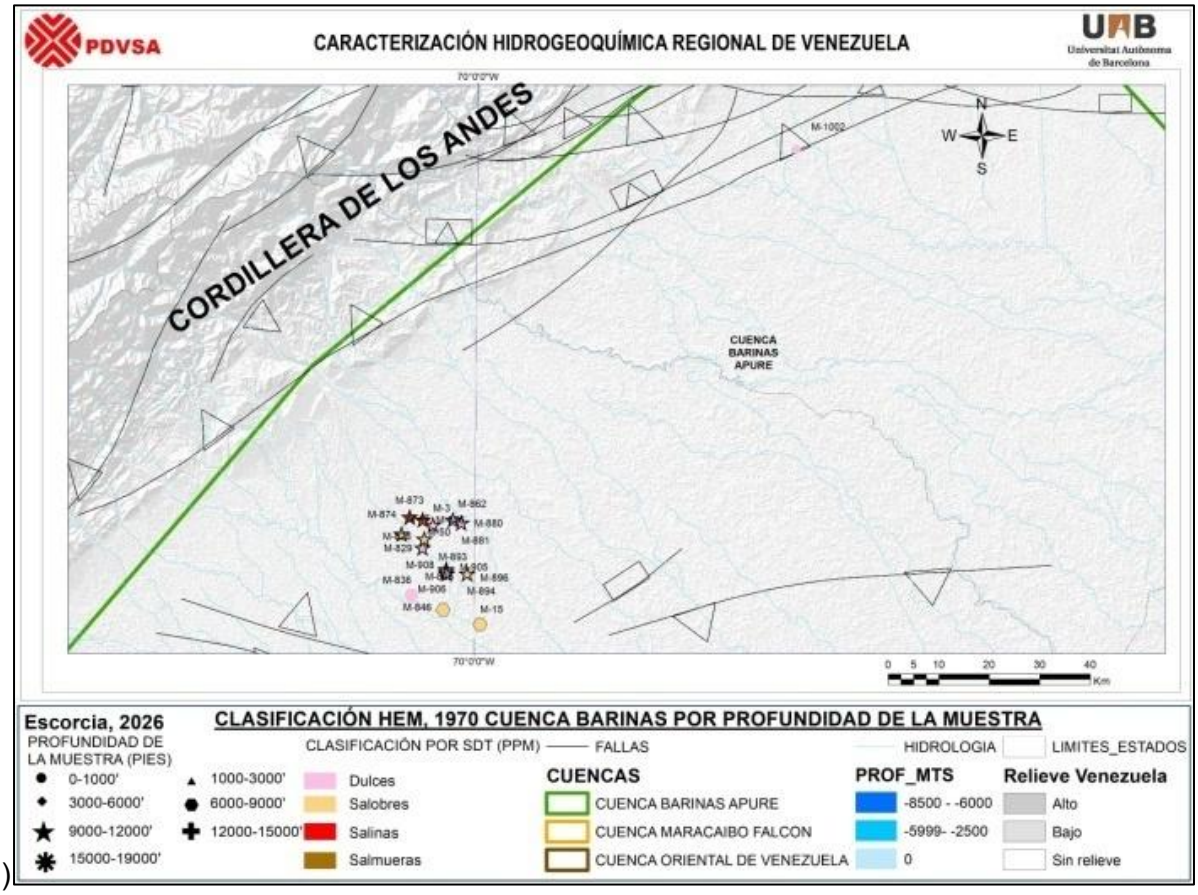
a)



b)


PDVSA
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL DE VENEZUELA
UAB
Universitat Autònoma de Barcelona
CUENCA MARACAIBO FALCON
CORDILLERA DE LOS ANDES
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
CUENCA BARINAS APURE
M-1002
M-1001
M-873
M-862
M-880
M-46
M-3
M-50
M-828
M-836
M-894
M-846
M-15
M-866
M-864
M-863
M-865
M-296
M-302
M-199
M-201
M-206
M-203
M-202
M-204
M-205
M-75
M-76
M-33
M-32
70°0'0"W
N
W
E
S
0 20 40 80 120 160 Km
Escorcia, 2026
CLASIFICACIÓN HEM,1970 CUENCA BARINAS APURE POR PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (PIES)
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
CLASIFICACIÓN POR SDT (PPM)
Dulces
Salobres
Salinas
Salmueras
FALLAS
HIDROLOGIA
LIMITES_ESTADOS
CUENCAS
CUENCA BARINAS APURE
CUENCA MARACAIBO FALCON
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
PROF_MTS
-8500 - -6000
-5999- -2500
0
Relieve Venezuela
Alto
Bajo
Sin relieve

c)


PDVSA
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL DE VENEZUELA
UAB
Universitat Autònoma de Barcelona
CORDILLERA DE LOS ANDES
CUENCA BARINAS APURE
M-1002
M-873
M-874
M-3
M-862
M-880
M-50
M-881
M-829
M-893
M-903
M-905
M-836
M-896
M-906
M-894
M-846
M-15
70°0'0"W
N
W
E
S
0 5 10 20 30 40 Km
Escorcia, 2026
CLASIFICACIÓN HEM, 1970 CUENCA BARINAS POR PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (PIES)
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
CLASIFICACIÓN POR SDT (PPM)
Dulces
Salobres
Salinas
Salmueras
FALLAS
HIDROLOGIA
LIMITES_ESTADOS
CUENCAS
CUENCA BARINAS APURE
CUENCA MARACAIBO FALCON
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
PROF_MTS
-8500 - -6000
-5999- -2500
0
Relieve Venezuela
Alto
Bajo
Sin relieve

d)

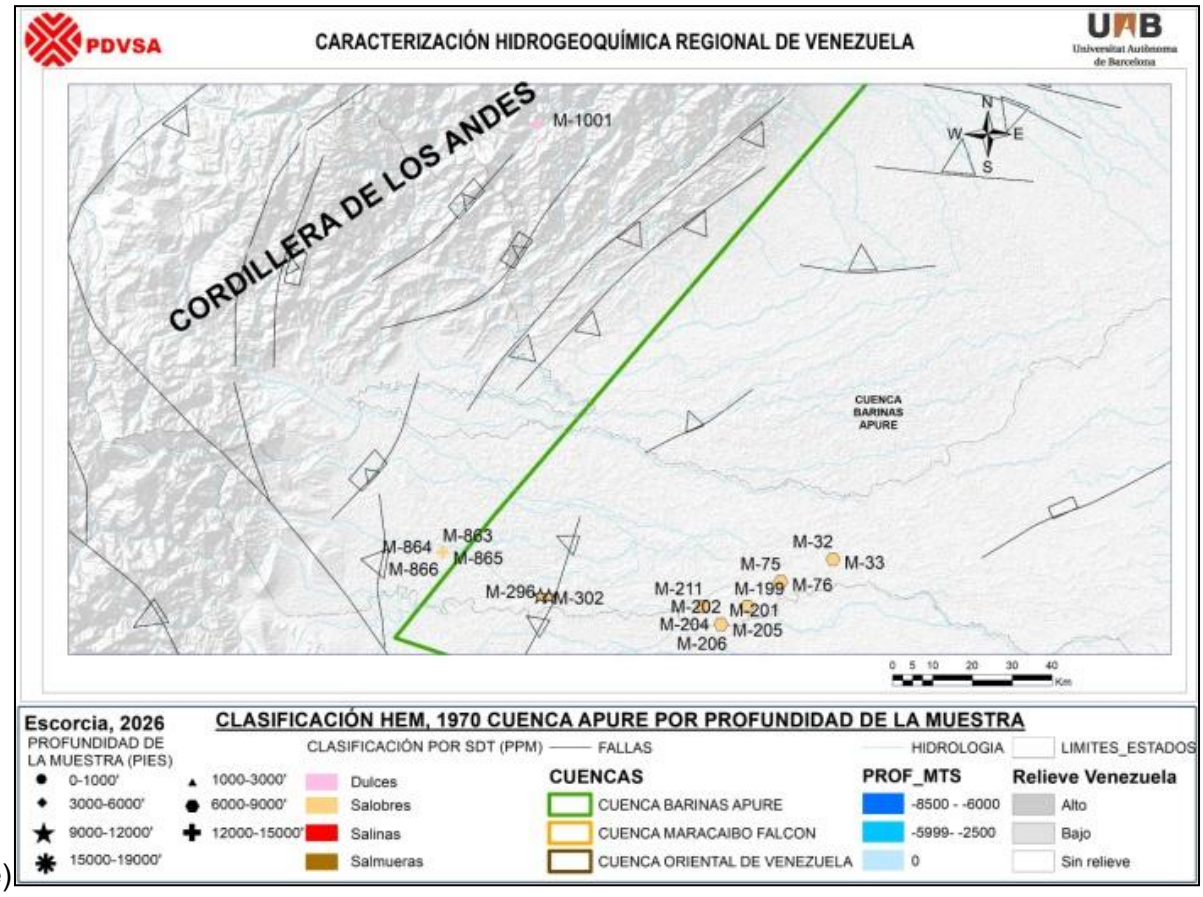
e) 

Figura 22. Grupos de aguas identificados a partir de la cantidad de sólidos disueltos totales (SDT), en mg/L de acuerdo con la clasificación de Hem (1970). a) Gráfico con la concentración SDT (mg/L) de las muestras por intervalo de profundidad y UD: dulce, salobres y salinas. Los colores internos de las barras son el intervalo de profundidad: 0-1.000 pies (azul claro), 6.000-9.000 pies (verde oscuro), 9.000-12.000 pies (fucsia) y 12.000-15.000 pies (naranja). Los colores al borde de las barras son las UD: UDII (verde), UDIV (carne), UDV (naranja), UDVI (marrón) y UDVII (amarillo). b) Gráfico de barras con la proporción de muestras en cada clasificación de (Hem, 1970) por rango de profundidad a la que fue tomada la muestra, c) Mapa con la localización de las muestras d) Zoom del mapa con la localización para la Subcuenca Barinas y e) Zoom del mapa con la localización para la Subcuenca Apure.

V. 1. 2 Correlación de elementos mayoritarios

El comportamiento de los elementos químicos en la naturaleza se relaciona con su asociación mineral en el estado sólido y su medio de transporte en el estado acuoso. La Tabla 8 contiene la volumetría de muestras disponibles con dato hidrogeoquímico por ion mayoritario y por rango de profundidad a la cual fue tomada la muestra. La Figura 23 corresponde a un gráfico de cajas y bigotes con las concentraciones en miliequivalentes por litro de los iones mayoritarios.

Tabla 8. Resumen de las muestras con datos hidrogeoquímicos disponible por ion mayoritario y por rango de profundidad en el cual fue tomada la muestra en la Cuenca Barinas Apure.

Rango de profundidad (pies)	Número de muestras con dato reportado del ion mayoritario						
	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	$HCO_3^-+CO_3^{2-}$
0-1.000	2	2	2	2	2	2	2
6.000-9.000	16	1	16	16	16	16	15
9.000-12.000	20	5	20	20	20	20	20
12.000-15.000	4	0	4	4	2	4	4
Total	**42**	**8**	**42**	**42**	**40**	**42**	**41**

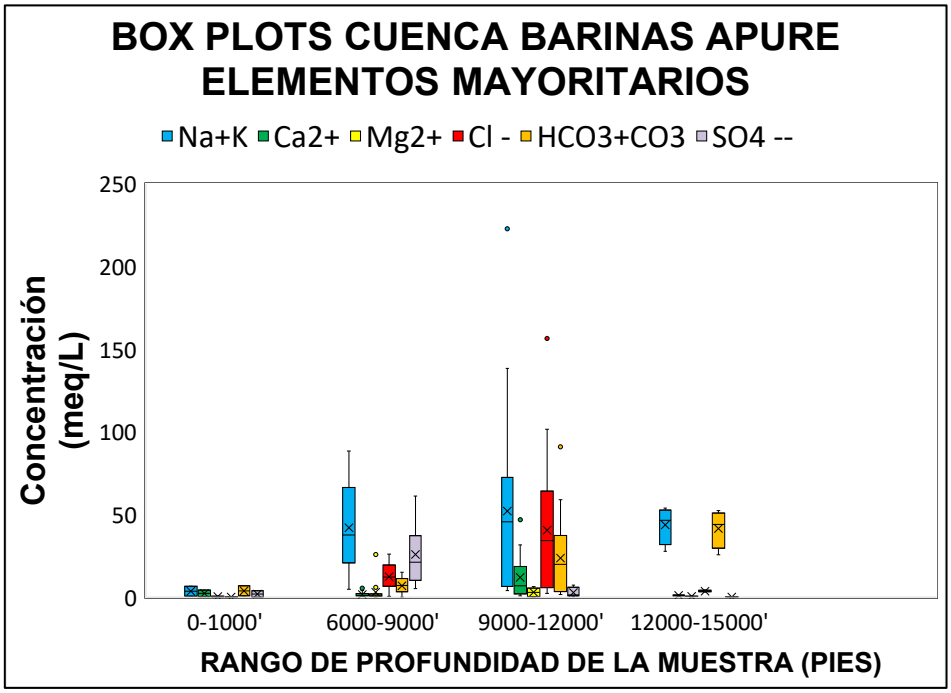


Figura 23. Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes para la Cuenca Barinas Apure de la concentración en meq/L de los iones principales en base al rango de profundidad. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja).

Se observan unas concentraciones promedio en general inferiores a los 100 meq/L para todos los casos y no existe una tendencia clara en el aumento de las concentraciones por profundidad a la cual fue tomada la muestra, lo cual hace pensar que el intercambio con muestras de agua en superficie es similar para toda la columna estratigráfica. Se observa un incremento considerable de la concentración de sulfato en el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~ 2.000 a 3.000 metros), intervalo en el cual se encuentran las muestras asociadas a la UDV y a la UDVI. El rango de profundidad desde 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), tiene concentraciones de bicarbonatos y cloruros similares característicos de ambientes con intercambio iónico.

En adelante se describen los gráficos de dispersión en base a la relación de las especies aniónicas mayoritarias: cloruro, bicarbonato y sulfato, respecto a las catiónicas: calcio, magnesio y potasio

con la finalidad de establecer cuáles son las correlaciones químicas principales y el comportamiento hidrogeológico de la cuenca.

Cloruro

La importancia del cloruro dentro del medio es su permanencia y su relación con un origen marino. Las relaciones que se consideraron son: cloruro y sulfato, cloruro y sodio, cloruro y magnesio, cloruro y calcio, y cloruro y bicarbonato.

Cloruro y sulfato

La concentración de sulfato guarda relación con la concentración de otros iones en agua de mar; además, se enriquece de forma significativa en ambientes evaporíticos por la presencia de yeso/anhidrita, o se incorpora en el medio por disolución de los minerales formados en ambientes reductores con presencia de materia orgánica, como por ejemplo la pirita (Kharaka y Harnor, 2003). A partir de la relación interaniónica de cloro y sulfato las 40 muestras con dato disponible se distinguen, en la Figura 24, dos grupos: un grupo enriquecido en sulfato identificado con el color verde y uno grupo enriquecido en cloruros identificados con el color fucsia que puede guardar una relación con el origen hidrogeológico de las muestras. En una descripción por niveles específicos de profundidad se tiene:

- En el intervalo de profundidad de 0-1.000 pies (~0 a 300 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII y UDVII la relación SO_4^{2-}/Cl^- es superior a 1,3 posiblemente relacionada con el aporte de sulfatos al medio ya sea por disolución de sulfatos de los minerales que forman parte de las litologías de la UDII o por oxidación de los sulfuros en los minerales como la pirita, también presentes en la UDII. Una posible fuente alterna serían los minerales presentes en las rocas exhumadas de la Cordillera de los Andes al oeste del área.

- En el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII, UDIV, UDV y UDVI la relación SO_4^{2-}/Cl^- puede desglosarse en tres grupos: 10 muestras con valores superiores a 1,3 podría indicar del aporte de sulfatos al medio y se ubican mayoritariamente en el área de Apure; posiblemente por disolución de sulfatos de los minerales que forman parte de las litologías de la UDII o por oxidación de los sulfuros en los minerales como la pirita, también presentes en la UDII. 1 muestra con una relación de 1,26 posiblemente asociada a un aporte de agua de mar en el área de Apure, que pudiera estar vinculada al grupo previo y finalmente un grupo de 5 muestras ubicadas mayoritariamente en el área de Barinas con una relación inferior a 1,2 que indica una baja concentración de sulfatos. Específicamente, las muestras tomadas en la UDII no presentan una alta concentración de sulfato a pesar de ubicarse en el área de Apure.

- En el intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII y UDVI la relación SO_4^{2-}/Cl^- es en todos los casos inferior a 0,3. De acuerdo con los valores referenciales para esta relación iónica, son muestras con un aporte de cloro al medio o una ausencia de sulfatos. Las muestras ubicadas en el área de Apure igual carecen de sulfatos. Adicionalmente, para las muestras tomadas en formaciones geológicas equivalentes a la UDII se observa una tendencia al aumento de la concentración de cloruros que podría ser probablemente indicativa de un proceso de mezcla.

- En el intervalo de profundidad de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), con muestras en la unidad depositacional UDII todas se ubican en el mismo punto geográfico y tienen una relación SO_4^{2-}/Cl^- inferior a 0,1 mostrando la baja concentración de sulfatos, ubicadas en el área de Apure.

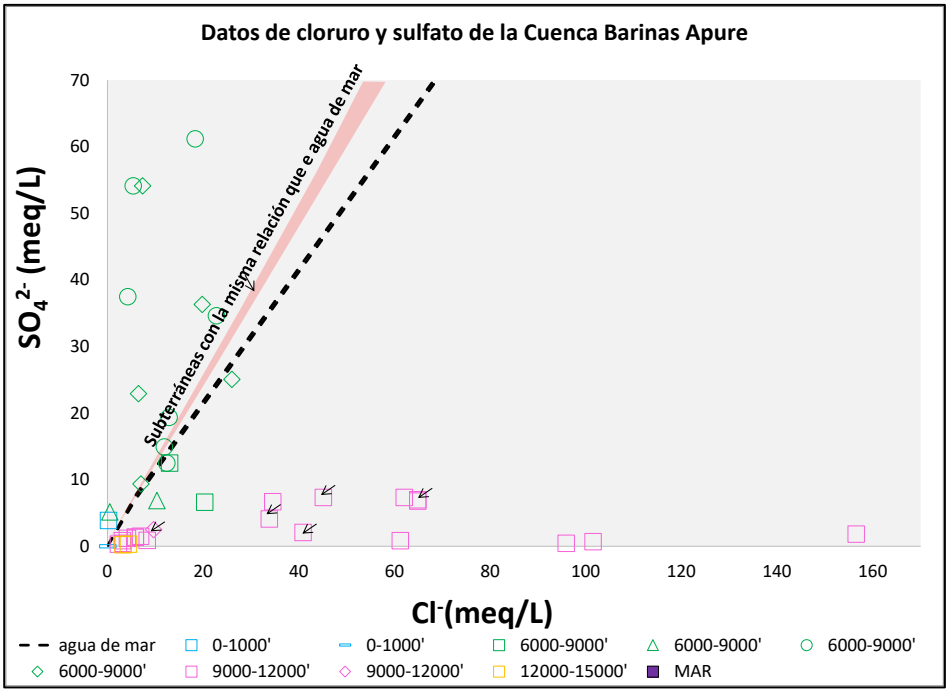


Figura 24. Gráfico de concentraciones en meq/L de cloruro en relación con sulfato de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con los límites descritos en Kharaka y Harnor (2003). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Cloruro y sodio

Para la relación sodio / cloruro se utilizaron 42 muestras de agua que en un aspecto general muestra un enriquecimiento en el catión sodio en relación con la presencia de cloruros y se agrupan en 3 tipos de interacción (Kharaka y Harnor, 2003). Se describe con relación a la profundidad de la muestra en la Figura 25:

- En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), (muestras de color azul claro), en las unidades depositacionales UDII y UDVII la relación Na^+/Cl^- es superior a 1. Esto es característico en aguas de origen meteórico, donde el sodio puede estar asociado al bicarbonato.

- En el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), (muestras de color verde oscuro), en las unidades depositacionales UDII, UDIV, UDV y UDVI la relación Na/Cl es en el 94% de los datos superior a 1. Esto puede deberse a la inclusión de aguas de origen meteórico, donde el sodio puede estar asociado al bicarbonato, o de aguas sulfato sódicas, lo cual ya se ha previsualizado en la relación cloruro/sulfato. Sólo una muestra tiene una relación Na^+/Cl^- inferior a 0,8 considerada como enriquecida en cloruros que puede deberse a la inclusión de aerosoles marinos, menos probable, o de reacción agua-roca que remueve el sodio para entrar en contacto con otros aniones como por ejemplo bicarbonato y continuar el flujo hidrodinámico.

- En el intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), (muestras de color fucsia), en las unidades depositacionales UDII y UDVI la relación Na^+/Cl^- es en el 95% de los datos superior a 1. Sólo una muestra tiene una relación Na/Cl en 0,95 considerada como con posible influencia marina o de interacción agua-roca con minerales como la halita. Adicionalmente, en este intervalo las muestras tomadas en formaciones asociadas a la UDII parecieran tener una correlación de mezcla entre aguas de concentraciones diferentes, enriquecidas en sodio, posiblemente por la interacción con otros iones como sulfato y bicarbonato.

- En el intervalo de profundidad de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), (muestras de color naranja), en la unidad depositacional UDII todas se ubican en el mismo punto geográfico y son superiores o cercanas a 10, y por tanto enriquecidas en sodio con un factor de 10 por lo cual pudiera estar relacionada con el ingreso de fluidos meteóricos (muestras M-863 a 866 en la Figura 21).

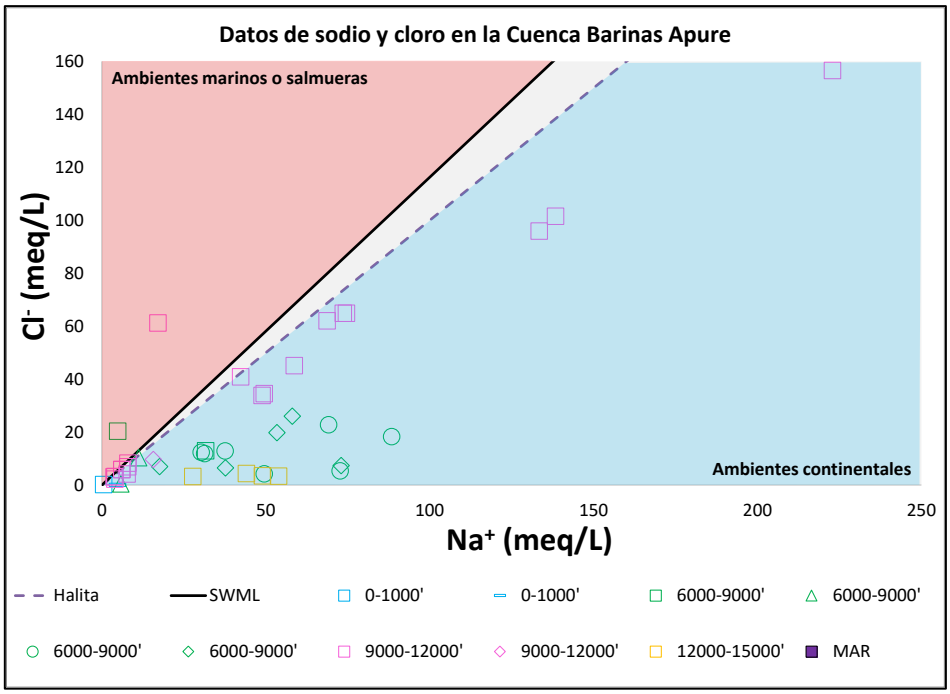


Figura 25. Gráfico de concentraciones en meq/L de sodio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure. La línea continua representa la relación Na^+/Cl^- del agua marina (0,8) y la línea de puntos representa la de aguas equilibradas con halita (Kharaka y Harnor, 2003). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19

Cloruro y calcio

Los iones de calcio son cationes con un mayor tiempo de residencia que guardan una relación entre ellos de acuerdo con el ambiente del cual provienen. Los 42 datos utilizados en este análisis fueron subdivididos de acuerdo con los rangos de concentración de calcio y cloro en miliequivalentes por litro, se observa una diferenciación por profundidad de la muestra y un incremento relativo de la concentración de ambos iones (Kharaka y Harnor, 2003). Se describe con relación a la profundidad de la muestra (Figura 26).

- En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII y UDVII la relación Ca^{2+}/Cl^- es superior a 3 donde la proporción de calcio es superior. Adicionalmente, la muestra tomada en la UDII puede estar enriquecida en calcio por una disolución de calcita de acuerdo con la litología esperada (Tabla 7).
- En el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII, UDIV, UDV y UDVI la relación Ca^{2+}/Cl^- es en el 94% inferior a 0,3 donde la proporción de cloruro es superior. Sólo una muestra tiene una relación Ca^{2+}/Cl de 2,3 donde la proporción de calcio es superior. De acuerdo con los valores referenciales para esta relación iónica, las muestras M-836, M-202, M-203, M-199 y M-76 presentan características de agua dulce, el resto de las muestras no tiene una relación clara. Considerando que la mineralogía esperada de las formaciones geológicas presentes en la

cuenca es baja en carbonatos (Tabla 7); ambos iones tienen baja movilidad.

- En el intervalo de profundidad de 9.000-12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII y UDVI la relación Ca^{2+}/Cl^{-} es en todos los casos inferior a 1. De acuerdo con los valores referenciales para esta relación iónica, 7 de las muestras son características de agua dulce, 3 muestras son características de agua marina todas en el área central de Barinas (M-873, M-874 y M-876) y 10 muestras no tienen una concentración que se encuentre en los límites sugeridos por los autores. Se observa nuevamente una predisposición de las muestras tomadas a nivel de las formaciones equivalentes a la UDII a formar una línea, lo cual podría indicar una correlación genética de las muestras que han pasado luego por un proceso de mezcla.

- En el intervalo de profundidad de 12.000-15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), con muestras en la unidad depositacional UDII todas se ubican en el mismo punto geográfico y tienen una relación Ca^{2+}/Cl^{-} inferior a 1 suele ser característica de agua dulce. Adicionalmente, en relación con las muestras en profundidades superiores las concentraciones de ambos iones son mucho menores.

- Como punto relevante, las muestras M-846, M-46 y M-906 que han presentado comportamientos diferentes en los análisis previos, para esta relación iónica no tienen una relación probablemente indicativa del tipo de ambiente.

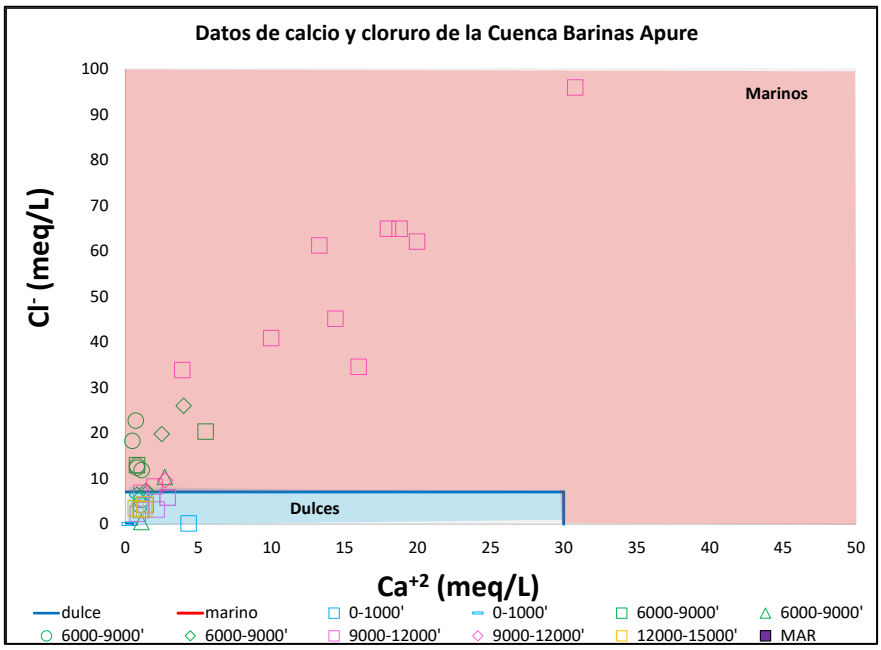


Figura 26. Gráfico de concentraciones en meq/L de calcio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure, en base a los límites descritos en Kharaka y Harnor (2003). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Cloruro y magnesio

En el caso de la Cuenca Barinas Apure, los 42 datos utilizados en este análisis fueron subdivididos de acuerdo con los rangos de concentración de magnesio y cloro donde se observan preferencias en la relación de las muestras con respecto a la profundidad y un incremento de la concentración (De Sousa, 2006). Se describe con relación a la profundidad de la muestra (Figura 27):

- En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII y UDVII con concentraciones inferiores a 1, por lo cual se encuentran en los rangos de concentración comunes en aguas de origen meteórico o aguas dulces.

- En el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII, UDIV, UDV y UDVI la relación Mg^{2+}/Cl^{-} es en el 94% inferior a 0,3 donde la proporción de cloruro es superior. Sólo una muestra, M-846, tiene una relación Mg^{2+}/Cl^{-} de 1,2 donde la proporción de magnesio es superior y suele ser característica de aguas marinas. De acuerdo con los valores referenciales para esta relación iónica, las muestras M-836, M-202, M-203, M-199 y M-76 presentan características de agua dulce, el resto de las muestras no tiene una concentración que pueda relacionarse con un ambiente en específico. En general se observa una correlación positiva de las muestras, mayoritariamente de las que fueron tomadas en la UDV. La muestra M-846 es representativamente superior en magnesio.

- En el intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII y UDVI la relación Mg^{2+}/Cl^{-} es en todos los casos inferior a 0,3. De acuerdo con los valores referenciales para esta relación iónica, 7 de las muestras son características de agua dulce y 13 muestras no tienen un rango de concentración que pudiera ser interpretado de acuerdo con los autores. En general se observan dos grupos de muestras, unos con un mayor enriquecimiento de cloro y otras con menores concentraciones ubicadas en el rango característico de agua dulce.

- En el intervalo de profundidad de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), con muestras en la unidad depositacional UDII todas se ubican en el mismo punto geográfico y tienen una relación Mg^{2+}/Cl^{-} característico de agua dulce. Adicionalmente, la concentración de los iones en las muestras de agua es inferior a la esperada por la profundidad a la cual se encuentra.

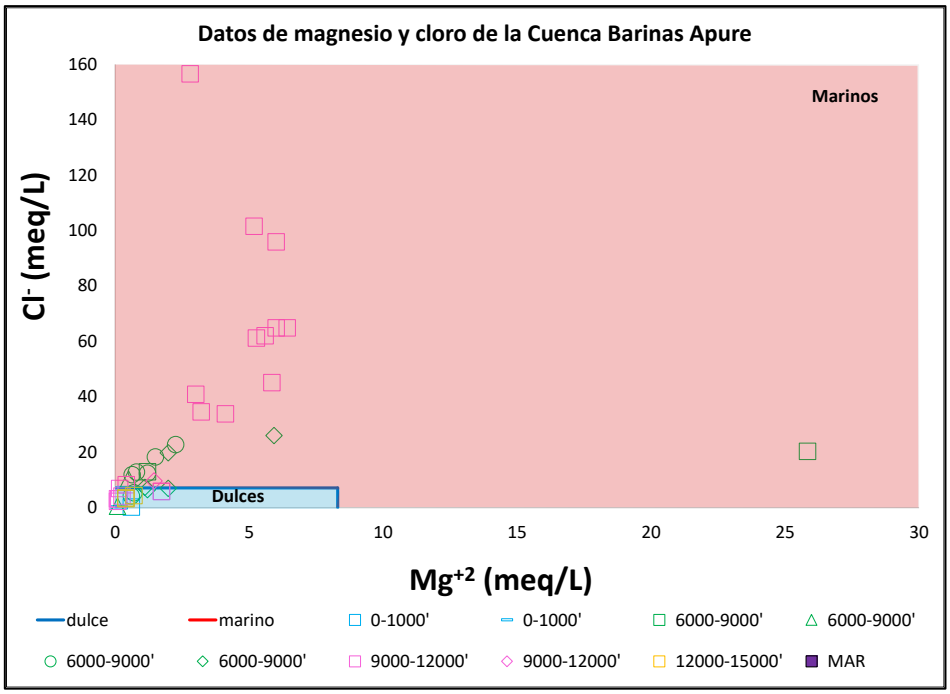


Figura 27. Gráfico de concentraciones en meq/L de magnesio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con los límites propuestos en De Sousa (2006). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Cloruro y bicarbonato

La concentración de bicarbonatos generalmente guarda relación con la presencia de rocas carbonáticas o de la disolución de dióxido de carbono en el medio acuoso, y, por lo tanto, suele relacionarse con la presencia de aguas meteóricas. En la relación interaniónica de cloro con bicarbonato se analizaron 41 muestras las cuales todas tienen rangos de concentración comunes para aguas de origen continental y la tendencia muestra una posible relación entre ambos iones a profundidades desde 6.000 a 12.000 pies (~2.000 a 4.000 metros), que pudiera ser indicativo de un proceso de mezcla entre aguas meteóricas y aguas connatas (Figura 28; Custodio y LLamas, 1976). Se separaron en tres grupos en función de la profundidad a la cual fue tomada la muestra.

- En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), la muestra tomada en la UDII tiene una relación de 4 que coincide con las concentraciones esperadas en aguas continentales y la muestra tomada en la UDVII tiene una relación de 81 que podría indicar que los iones no se encuentran correlacionados.

- En el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros) con muestras en las unidades depositacionales UDII, UDIV, UDV y UDVI la relación Cl^-/HCO_3^- presenta valores de 1,7 que acuerdo con los valores referenciales para esta relación iónica, se atribuye a un aporte de aguas continentales. En general se observa una correlación positiva de las muestras.

- En el intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies con muestras en las unidades depositacionales UDII y UDVI la relación Cl^-/HCO_3^- presenta valores de 1,7 que, de acuerdo con los valores referenciales para esta relación iónica, se atribuye a un aporte de aguas continentales. En general se observan un alineamiento de las muestras con una posible relación entre ambos iones que se relacione con diferentes porcentajes de mezcla entre las aguas.

- En el intervalo de profundidad de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), con muestras en la unidad depositacional UDII todas se ubican en el mismo punto geográfico y tienen una relación Cl^-/HCO_3^- que suele ser característica de un aporte de aguas continentales con valores de 0,2 a 1,1, donde no se observa una correlación entre los iones.

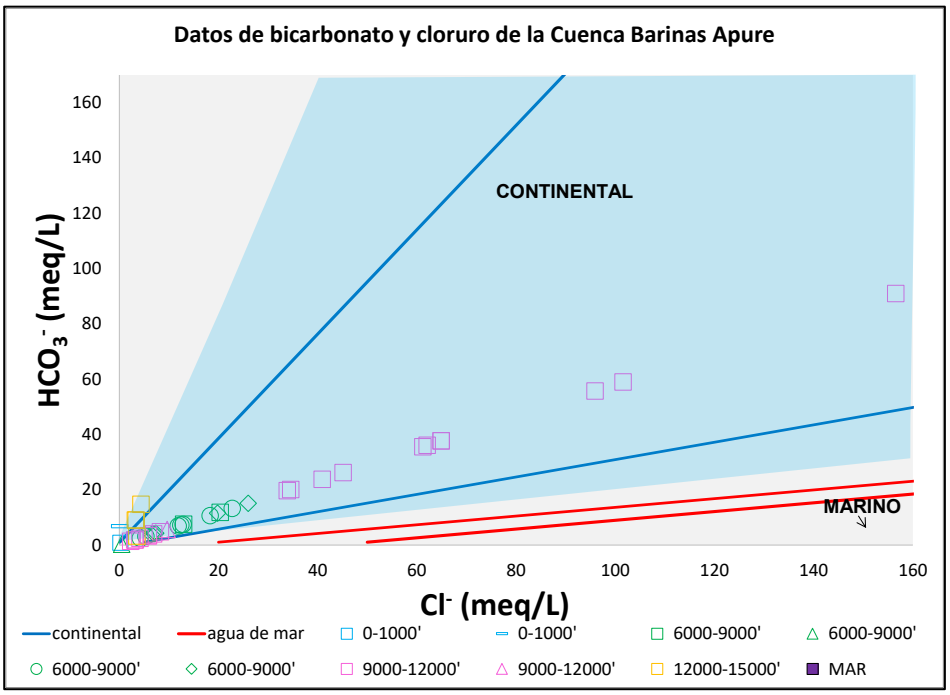


Figura 28. Gráfico de concentraciones en meq/L de cloruro en relación con bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con limites en Custodio y Llamas (1976). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Bicarbonato y carbonato

La presencia de iones bicarbonato y carbonato en las muestras de agua subterránea se asocia mayormente con aguas de intercambio iónico con corto tiempo de permanencia. La principal fuente de estos aniones son los minerales carbonatados, que presentan un bajo producto de solubilidad (Kps) a temperatura y presión ambiental (Tabla 2), y que son fácilmente incorporados como aniones libres.

Bicarbonato y sodio

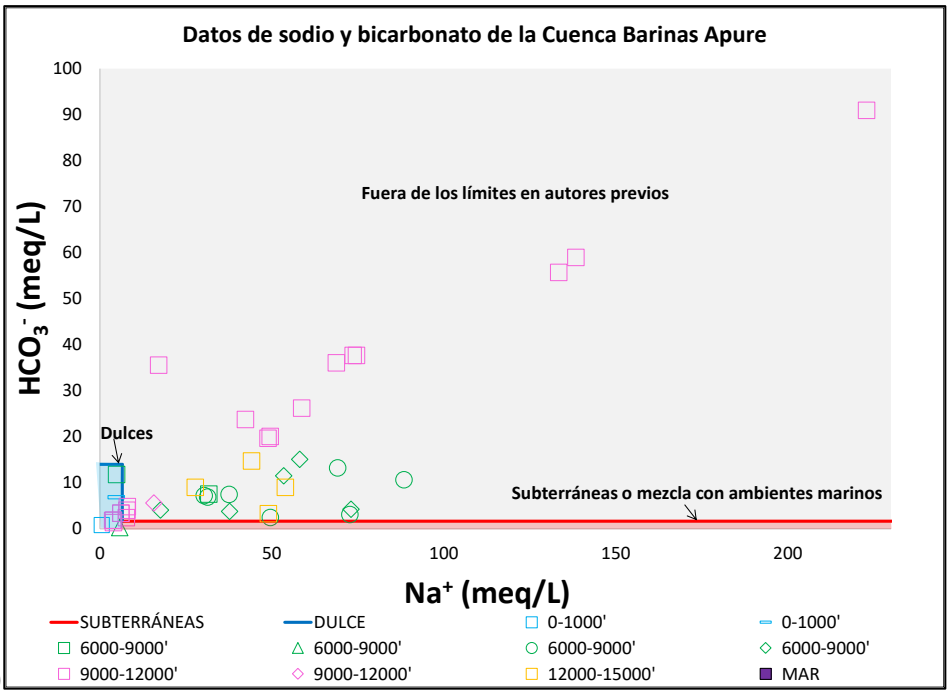
El sodio como elemento de alta movilidad suele asociarse con el bicarbonato en las aguas de intercambio iónico. En este caso no se tiene una clasificación de agua de mar; sin embargo, en los casos donde el enriquecimiento de sodio es muy superior se espera una contribución del ion desde otras fuentes como NaCl (Custodio y LLamas, 1976 y Vásquez Castro, 1998). Los 41 datos utilizados en este análisis, a partir de la relación Na^+/HCO_3^- describen nuevamente que las muestras son diferenciables con relación a la profundidad a la cual fue tomada (Figura 29):

- En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (0 a 300 m), con muestras en las unidades depositacionales UDII y UDVII, la relación Na^+/HCO_3^- presenta valores inferiores a la unidad que se encuentran en los rangos esperados en agua dulce, correlacionados entre ellos.

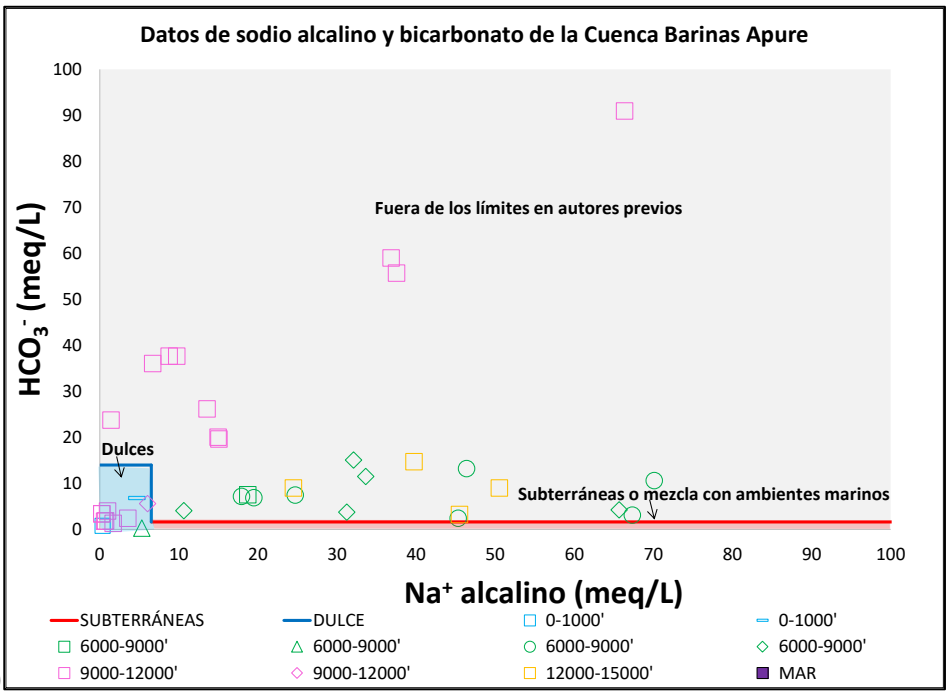
- En el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII, UDIV, UDV y UDVI la relación Na^+/HCO_3^- presenta valores superiores a la unidad, pero fuera de los límites comúnmente definidos para los iones, lo cual implica un aporte de sodio adicional al que se mezcla con el bicarbonato. Una de las muestras tiene una relación inferior a uno, suele ser característica de agua dulce con una mayor concentración de bicarbonato que de sodio, lo cual puede estar relacionado con el aporte de carbonatos presentes en la UDII.

- En el intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII y UDVI la relación Na^+/HCO_3^- presenta valores de 0,5 a 3 que, de acuerdo con los valores referenciales para esta relación iónica, se atribuye posiblemente a: 4 muestras de agua dulce ubicadas en el área de Barinas, una muestra de agua de mezcla M-905 tomada en la UDII y 15 muestras fuera de los límites comúnmente definidos para los iones. En general se observan dos grupos de muestras, unos con un mayor enriquecimiento de sodio. Las muestras fuera de los límites esperados tomadas en la UDII presentan una correlación que podría ser indicativa de un proceso de mezcla, lo cual se relaciona con el cambio en la correlación para el gráfico que considera la concentración de sodio sin la cantidad que se relaciona con cloruro (Figura 29b).

- En el intervalo de profundidad de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), con muestras en la unidad depositacional UDII todas se ubican en el mismo punto geográfico y tienen una relación Na^+/HCO_3^- superior a la unidad sin un valor característico de un tipo de ambiente. Las muestras presentan concentraciones inferiores a algunas de las encontradas en el intervalo de profundidad 9.000-12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros).



a)



b)

Figura 29. a) Gráfico de concentraciones en meq/L de sodio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure a partir de los valores en Custodio y LLamas (1976) y Vásquez Castro (1998). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19

Bicarbonato y calcio

El calcio se asocia comúnmente con la presencia de litologías carbonáticas, y como elemento de alta movilidad, suele asociarse con el ion bicarbonato en las aguas de intercambio iónico (Kharaka y Harnor, 2003). Los 41 datos utilizados en este análisis se pueden dividir en tres grupos a partir de

la relación interiónica Ca^{2+}/HCO_3^- y adicionalmente se mantienen en la mayoría de los casos dentro de las concentraciones esperadas para aguas subterráneas de intercambio iónico, se describen con relación a la profundidad de la muestra (Figura 30).

- En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), la muestra tomada en la UDII tiene una concentración de calcio superior al bicarbonato que pudiera correlacionarse con aguas dulces y la muestra tomada en la UDVII tiene una concentración de calcio inferior a bicarbonato que pudiera estar relacionada con el aporte de carbonatos desde otra fuente.

- En el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII, UDIV, UDV y UDVI la relación Ca^{2+}/HCO_3^- presenta valores inferiores a la unidad en su mayoría con concentraciones características de aguas dulces y en algunos casos fuera de los límites comúnmente definidos para los iones, lo cual implica que el bicarbonato no se interrelaciona sólo con el calcio. Una de las muestras tiene una relación superior a uno, que suele ser característica de agua dulce con una mayor concentración de calcio que de bicarbonato, lo cual puede estar relacionado con el aporte de calcio desde otras fuentes como los sulfatos.

- En el intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII y UDVI la relación Ca^{2+}/HCO_3^- presenta valores de 0,2 a 1,2 que, de acuerdo con los valores referenciales para esta relación iónica, se atribuye a: 9 muestras de agua dulce y 11 muestras fuera de los rangos propuestos por los autores pero que en el gráfico indican una posible relación directa entre ambos iones.

- En el intervalo de profundidad de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), con muestras en la unidad depositacional UDII todas se ubican en el mismo punto geográfico y tienen una relación Ca^{2+}/HCO_3^- inferior a la unidad característico de agua dulce; sin embargo, se distingue un enriquecimiento en la cantidad de bicarbonato en la muestra que pudiera indicar un proceso de mezcla o más probable un proceso de intercambio iónico con la litología asociada a la UDII. Nuevamente, las muestras presentan concentraciones inferiores a las encontradas en el intervalo de profundidad 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros).

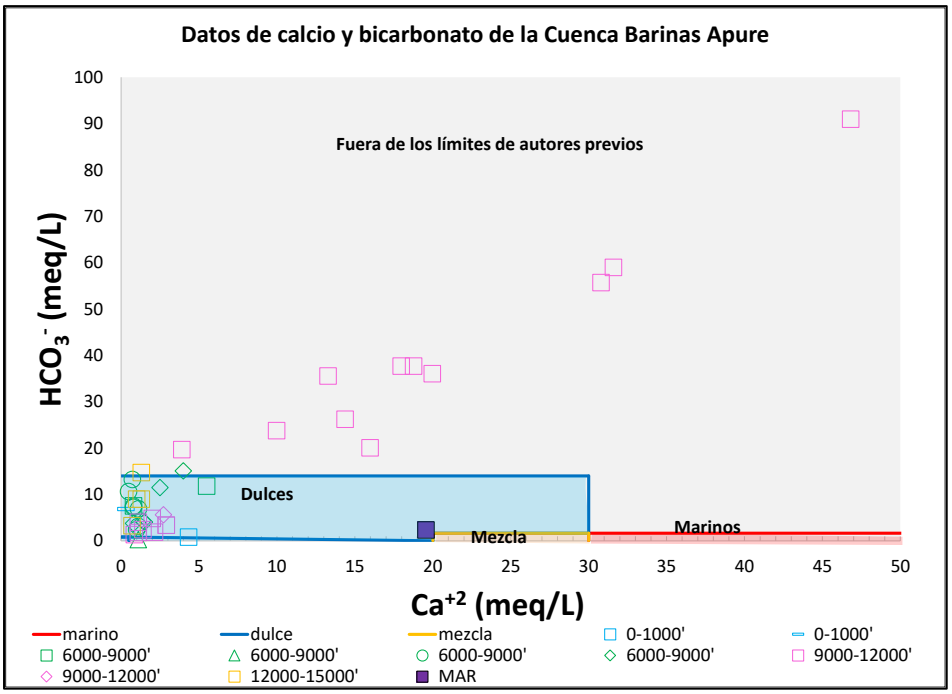


Figura 30. Gráfico de concentraciones en meq/L de calcio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con los rangos de concentración descritos por Custodio y Llamas (1976) y Kharaka y Harnor (2003). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Bicarbonato y magnesio

El magnesio, a menudo relacionado con calcio en minerales como dolomita con bajo Kps, también se observa en conjunción con bicarbonato. Los 41 datos utilizados en este análisis se subdividen en cuatro grupos por su relación interiónica Mg^{2+}/HCO_3^-, todos cuales se relacionan con aguas subterráneas de intercambio iónico con una diferenciación con relación a la profundidad de la muestra (Figura 31; De Sousa, 2006).

- En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII y UDVII la concentración en meq/L de magnesio es inferior a la unidad y la concentración en meq/L de bicarbonato es inferior a la unidad en un caso y de un valor de 6 en el otro. Se podría esperar un intercambio de iones para la muestra con una mayor concentración no relacionado con la presencia de magnesio.

- En el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII, UDIV, UDV y UDVI la relación Mg^{2+}/HCO_3^- presenta en un 95% valores inferiores a la unidad característico de aguas dulces o fuera de los límites comúnmente definidos para los iones. La muestra M-846 tiene una relación superior a 1 indicando un aporte de magnesio superior al de bicarbonato, posiblemente por la presencia de

sales de magnesio diferentes a los carbonatos como por ejemplo en la disolución de rocas con presencia de serpentinas que son meteorizadas a óxidos de magnesio. También se observa una posible relación entre ambos iones que pudiera relacionarse con disolución de minerales como dolomita, que de acuerdo con la Tabla 7 es probable un aporte para todas las unidades depositacionales.

- En el intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII y UDVI la relación Mg^{2+}/HCO_3^- presenta valores desde 0,5 a 3 que, de acuerdo con los valores referenciales para esta relación iónica, se atribuyen a: 8 muestras de agua dulce, una muestra de agua de mezcla M-905 y 11 muestras fuera de los límites comúnmente definidos para los iones. En general se observan dos grupos de muestras, con diferencias en la concentración pero que en un proceso de mezcla pudieran estar relacionados.

- En el intervalo de profundidad de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), con muestras en la unidad depositacional UDII todas se ubican en el mismo punto geográfico y tienen una relación Mg^{2+}/HCO_3^- inferior a 0,15 característico de un tipo de agua dulce. Las muestras presentan concentraciones inferiores a las encontradas en el intervalo de profundidad 9.000-12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros). Asimismo, al igual que la relación con calcio se observa un enriquecimiento relativo de la concentración de bicarbonato que hace pensar que se encuentra en solución con sodio.

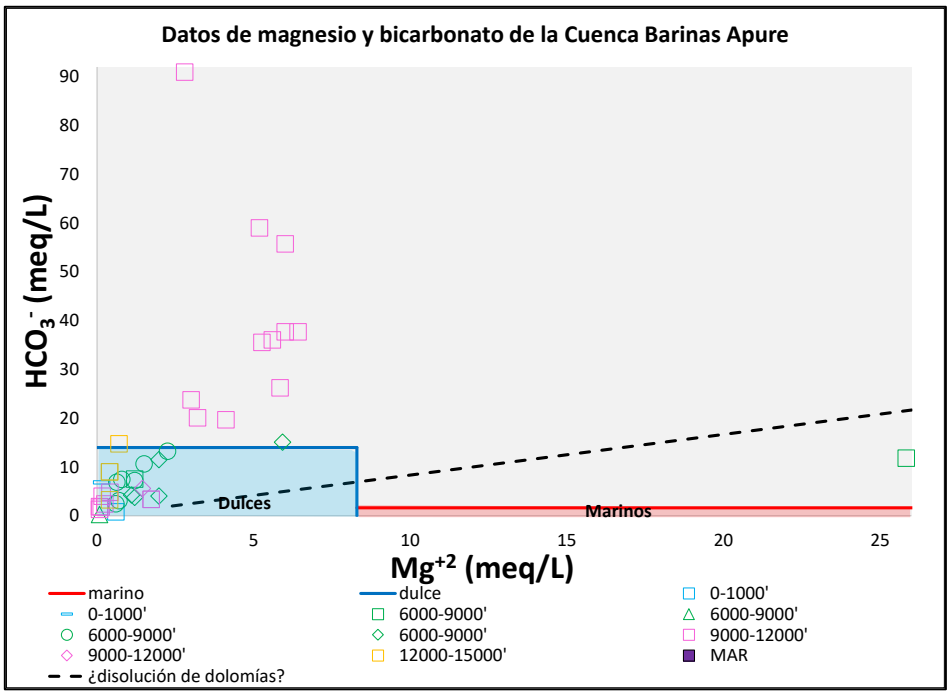


Figura 31. Gráfico de concentraciones en meq/L de magnesio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con los límites propuestos por Custodio y

Llamas (1976) y De Sousa (2006). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Bicarbonato y sulfato

El sulfato generalmente se relaciona con presencia de agua marina o ambientes evaporíticos y por tanto en relación inversa con la presencia de bicarbonato como especie iónica, posiblemente asociada a aguas de intercambio iónico. No se dispone de una relación interelemental documentada o de intervalos comunes, y las concentraciones de sulfato no son superiores a 4.000 meq/L en ninguno de los casos (Kharaka y Harnor, 2003), valor que es utilizado como referencia. Sin embargo, existe nuevamente en el gráfico (Figura 32) una diferenciación de las muestras en relación con la profundidad y en algunos casos, por la unidad depositacional en la cual se tomó la muestra.

- Las muestras tomadas en un intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), pies tienen dos comportamientos, la muestra tomada en la UDII tiene concentración en meq/L superior para sulfato y la muestra tomada en la UDVII tiene una concentración en meq/L superior para bicarbonato. El origen hidrogeoquímico de estas aguas puede ser el reflejo de esta diferenciación.

- Las muestras tomadas en un intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), de color verde en el gráfico, independiente de la unidad depositacional en la cual fue tomada muestra un enriquecimiento en la cantidad de sulfato en la muestra. El aporte de sulfato al medio podría relacionarse con un flujo hidrodinámico desde donde podría existir la disolución de sulfatos o la oxidación de sulfuros. De ser ésta la explicación más probable también indicaría una interconexión de los reservorios en el área independiente de las fallas que los compartamentalizan.

- Las muestras tomadas en un intervalo de profundidad desde 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), de color fucsia en el gráfico presentan una alineación en la concentración de bicarbonatos cuando fueron tomadas en formaciones asociadas a la UDII, que podrían indicar un proceso de mezcla.

- Finalmente, las muestras tomadas en las profundidades desde 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), de color naranja representan un sólo punto geográfico y no muestran una diferencia significativa entre ellas, con una relación mayoritaria a la concentración de bicarbonatos, nuevamente en una alineación vertical en el enriquecimiento de bicarbonato.

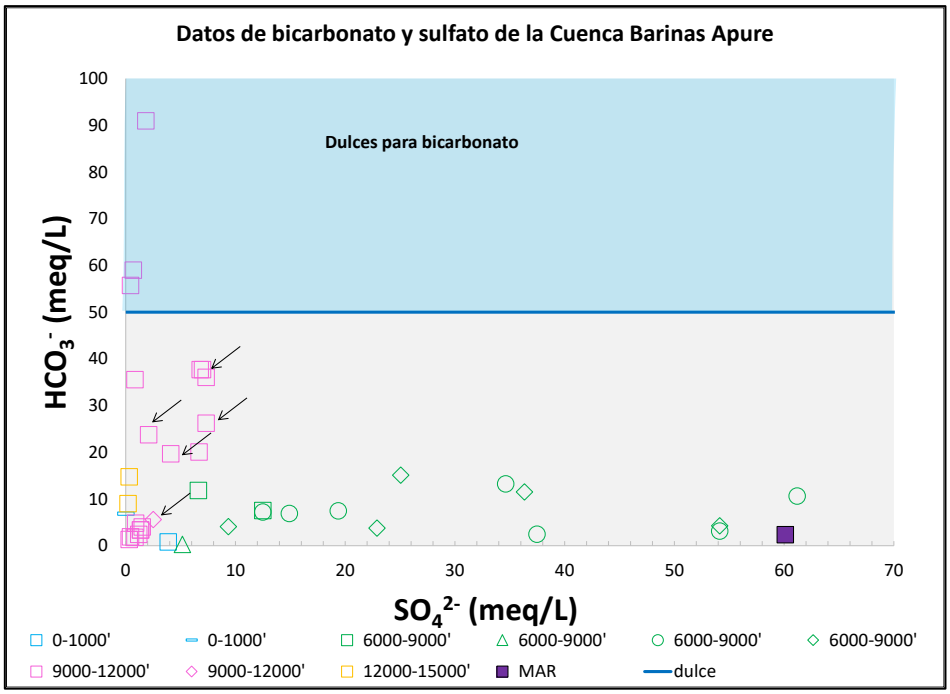


Figura 32. Gráfico de concentraciones de sulfato con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Sulfato

La concentración de sulfato suele ser elevada en ambientes con una alta tasa de evaporación donde existe un enriquecimiento relativo del ion (Kharaka & Harnor, 2003). Sin embargo, también existen relaciones interelementales relacionadas con su proporción en el agua de mar, tal como se observó con el ion cloro. En las muestras de agua la relación sulfato sodio y sulfato magnesio sólo se encuentra en trazas dentro del análisis composicional, principalmente por la baja ocurrencia de los minerales thenardita y epsomita, por lo cual fueron excluidas del análisis. Sin embargo, para las muestras tomadas en un intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), existe una predominancia de los iones sulfato, calcio y magnesio con relación al resto (Figura 20), por lo cual se considera que existe un intercambio roca-agua con formaciones como las equivalentes a la UDII con aporte de iones sulfato y calcio al sistema.

Sulfato y calcio

Se disponen de 40 muestras con análisis de calcio y sulfato. En la naturaleza existen aguas enriquecidas en estos elementos por disolución, entre otros, de los minerales yeso o anhidrita (Tabla 7). Con especial atención a las muestras cuya relación molar es 1:1 indicando una posible disolución de yeso y/o anhidrita. Aparentemente, ninguna de las muestras tiene una concentración que sea correlacionable con la disolución de minerales como yeso y anhidrita, por lo cual el aporte se podría

relacionar con la oxidación de sulfuros como pirita. En la Figura 33 se ilustran las composiciones de las muestras en relación con la profundidad.

- En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), la muestra tomada en la UDII tiene una relación de 1,1 que pudiera estar relacionada con la disolución de minerales como yeso o la oxidación de sulfuros (Tabla 7).

- En el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII, UDIV, UDV y UDVI la relación Ca2+/SO42- presenta valores inferiores a la unidad, pero fuera de los límites comúnmente definidos para los iones, lo cual implica un aporte de sulfato adicional al que se mezcla con el calcio o una pérdida del calcio de la muestra por precipitación de cementos de calcita en la roca.

- En el intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII y UDVI la relación Ca^{2+}/SO_4^{2-} presenta valores mayoritariamente superiores a 1 indicando la disminución en la concentración de sulfato respecto al intervalo superior pero un enriquecimiento en la concentración de calcio que pudiera correlacionarse con un proceso de mezclas de aguas.

- En el intervalo de profundidad de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), con muestras en la unidad depositacional UDII todas se ubican en el mismo punto geográfico y tienen una relación Ca^{2+}/SO_4^{2-} superior a la unidad sin un valor característico de un tipo de ambiente. Las muestras presentan concentraciones inferiores a las encontradas en los intervalos superiores.

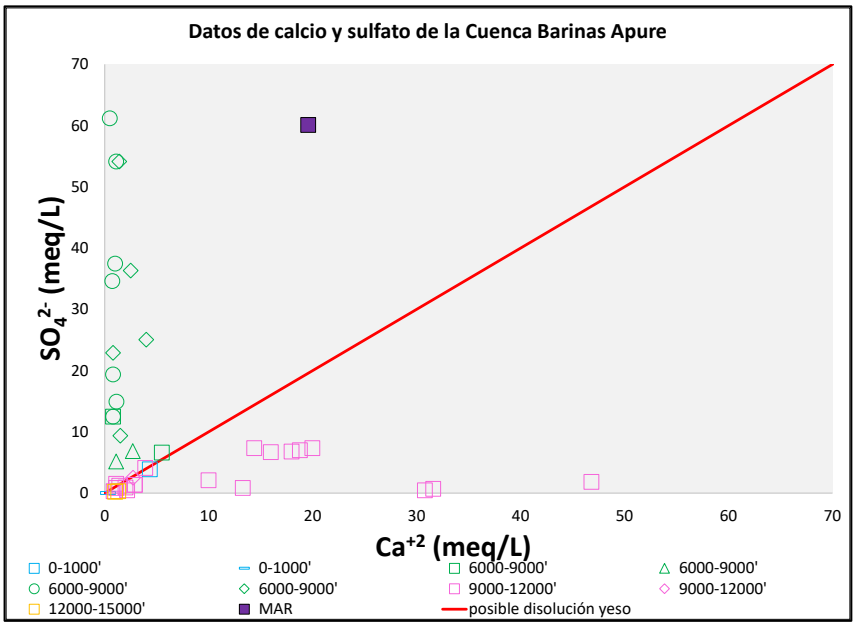


Figura 33. Gráfico de concentraciones en meq/L de calcio con relación a sulfato de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure. Línea roja con relación 1:1 de los iones, muestras que podrían correlacionarse con la disolución de yeso y/o anhidrita. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Sulfato y magnesio

Se disponen de 40 muestras con análisis de magnesio y sulfato. Las muestras se encuentran en todos los casos por debajo de los límites esperados para muestras tomadas de ambientes evaporíticos (Kharaka y Harnor, 2003). Se distinguen notoriamente las muestras por la profundidad de la cual fueron tomadas; un grupo enriquecido en sulfato ubicado en profundidades entre 6.000 y 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), y otro grupo enriquecido relativamente en magnesio en profundidades entre 9.000 y 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros). En la Figura 34 se describen con relación a la profundidad de la muestra.

- En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII y UDVII la concentración en meq/L de magnesio es inferior a la unidad y la concentración en meq/L de sulfato es inferior a la unidad en un caso y de un valor de 36 en la muestra tomada en formaciones equivalentes a la UDII, en las cuales el intercambio iónico puede aportar sulfato.

- En el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII, UDIV, UDV y UDVI las muestras tomadas en la UDII tienen concentraciones del sulfato relativas elevadas al resto de las unidades, por un posible aporte de las litologías asociadas (Tabla 7); sin embargo las muestras tomadas en la UDIV, UDV y UDVI para este intervalo también presentan una concentración en meq/L de sulfato relativamente alta por lo cual se infiere un aporte adicional. De ser ésta la explicación más probable también indicaría una interconexión de los reservorios en el área independiente de las fallas que los compartamentalizan. Sólo una de las muestras destaca en la concentración de magnesio (26 meq/L) asociada a la formación Escandalosa donde el aporte de magnesio es posible por disolución de dolomías.

- En el intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII y UDVI los valores de sulfato son inferiores a 15 meq/L, pero las concentraciones de magnesio son superiores a los demás intervalos indicando un posible proceso de mezcla de aguas.

- En el intervalo de profundidad de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), con muestras en la unidad depositacional UDII todas se ubican en el mismo punto geográfico y tienen unas concentraciones en meq/L de magnesio y sulfato inferiores a uno; indicando que los procesos hidrogeoquímicos que acaecen en los demás intervalos no ocurren a estas profundidades.

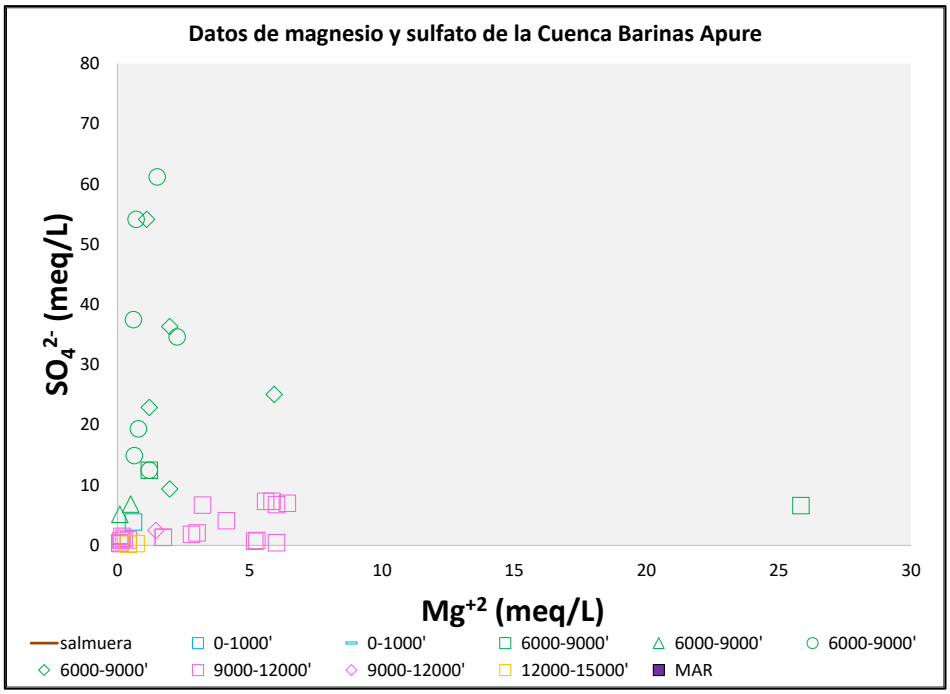


Figura 34. Gráfico de concentraciones en meq/L de magnesio con relación a sulfato de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con el límite de agua dulce propuesto para magnesio en Davis y De Wiest (1971). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Sodio y potasio

Los cationes sodio y potasio son altamente móviles, donde, De Sousa (2006), Kharaka y Harnor (2003) y Vásquez Castro (1998), han planteado que valores en la relación entre sodio y potasio son a su vez probablemente indicativas de la proveniencia. Los 8 datos utilizados se encuentran en rango de concentraciones reportados en aguas subterráneas y se describen con relación a la profundidad de la muestra (Figura 35).

- En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), las dos muestras disponibles tomadas en la UDII y en la UDVII presentan una relación K^+/Na^+ superior a la unidad con lo cual la concentración en meq/L de potasio (0,54 y 4,77) es superior a la concentración de sodio. El origen del potasio podría correlacionarse con un posible intercambio iónico con los minerales en el medio como ilita y feldespato potásico.

- En el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), con muestras en la unidad depositacional UDIV la relación Na^+/K^+ presenta sólo una muestra con valores inferiores a la unidad, suele ser característica de agua dulce.

- En el intervalo de profundidad de 9.000-12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII la relación Na^+/K^+ presenta cuatro muestras características

de agua dulce entre 0,2 y 0,3 y una muestra con valores de 2,61 donde el potasio es superior a sodio.

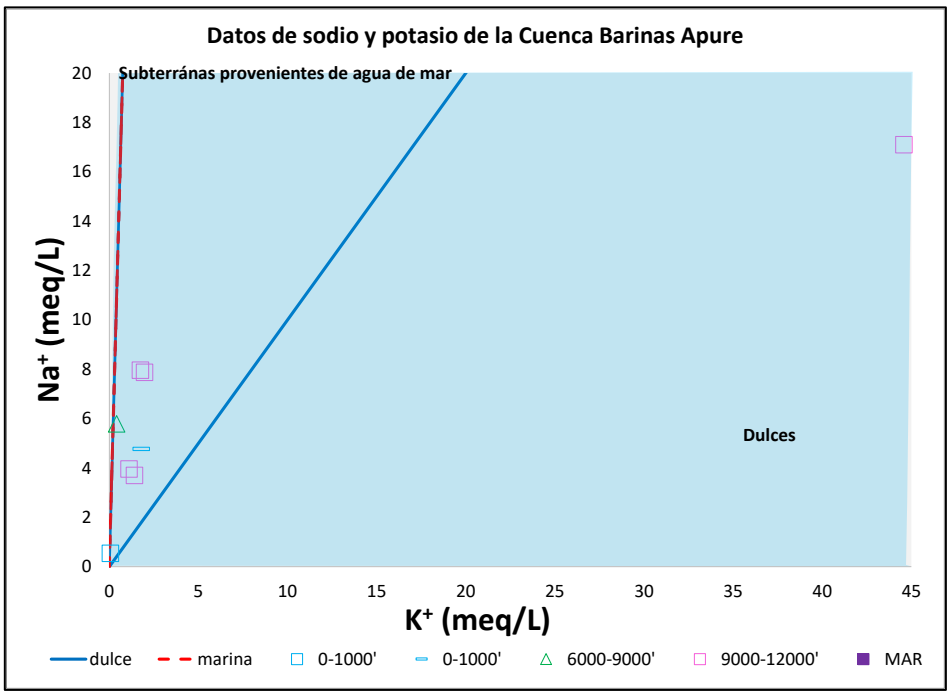


Figura 35. Gráfico de concentraciones en meq/L de sodio con relación a potasio de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con las concentraciones esperadas sugeridas por De Sousa, (2006), Kharaka & Harnor, (2003) y Vásquez Castro (1998). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Calcio y magnesio

Los iones calcio y magnesio son cationes normalmente con un largo tiempo de residencia, que guardan una relación entre ellos según el ambiente del cual provienen y que pueden conjugarse con los aniones principales como cloruro, bicarbonatos (más común) y sulfato (en ambientes evaporíticos). Aunque las litologías presentes en el área no indican rocas ígneas (Tabla 7); en la Figura 21 se distingue la presencia de los arcos de Arauca y de Mérida que son altos de basamento constituidos por rocas ígneas y metamórficas con edades desde el Precámbrico al Ordovícico (Medina *et al*., 2015). Se han obtenido resultados de 40 muestras de aguas que permiten la agrupación en 4 rangos pero que en general describen una posible correlación solo para muestras ubicadas en el intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), (De Sousa, 2006, Kharaka y Harnor, 2003 y Mandel y Shiftan, 1981). Se describen con relación a la profundidad de la muestra (Figura 36).

- En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), las muestras tomadas en las formaciones posiblemente asociadas a la UDII y a la UDVII tienen una relación Mg^{2+}/Ca^{2+} de 0,13 y 0,5 fuera de los rangos de correlación indicados por autores previos, pero que podrían ser indicativas de la asociación geoquímica de estos elementos.

- En el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII, UDIV, UDV y UDVI la relación Mg^{2+}/Ca^{2+}, de acuerdo con los valores referenciales para esta relación iónica, se pueden categorizar como: 7 muestras de aguas continentales por su relación de 0,3 a 1,5 que posiblemente no presentan interacción con agua de mar tomadas en las unidades depositacionales UDV y UDVI; 6 muestras de aguas enriquecidas en magnesio respecto a calcio tomadas en las unidades depositacionales UDII, UDV y UDVI, que se pueden explicar por la posible interacción con gabros y/o basaltos que quizás se encuentren alterados a serpentina, por precipitación de cementos de calcita que disminuyen la concentración de calcio en el sistema, o por una composición similar al agua de mar; 1 muestra con relación cercana a uno probablemente indicativa de disolución de dolomía tomada en la UDV (Tabla 7) y dos muestras con valores fuera de las concentraciones esperadas.

- En el intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), con muestras en las unidades depositacionales UDII y UDVI la relación Mg^{2+}/Ca^{2+} presenta valores de 0,04 a 1,05 que, de acuerdo con los valores referenciales para esta relación iónica, se atribuye a: 9 muestras de agua continentales tomadas en la unidad depositacional UDII y 11 muestras con valores fuera de los rangos propuestos por los autores pero que muestran una relación similar o alrededor del límite inferior para muestras de aguas de origen meteórico o aguas continentales.

- En el intervalo de profundidad de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), con muestras en la unidad depositacional UDII todas se ubican en el mismo punto geográfico y tienen una relación Mg^{2+}/Ca^{2+} que, de acuerdo con los valores referenciales para esta relación iónica, se atribuye a agua continental. Las muestras presentan concentraciones inferiores a las encontradas en el intervalo de profundidad 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros).

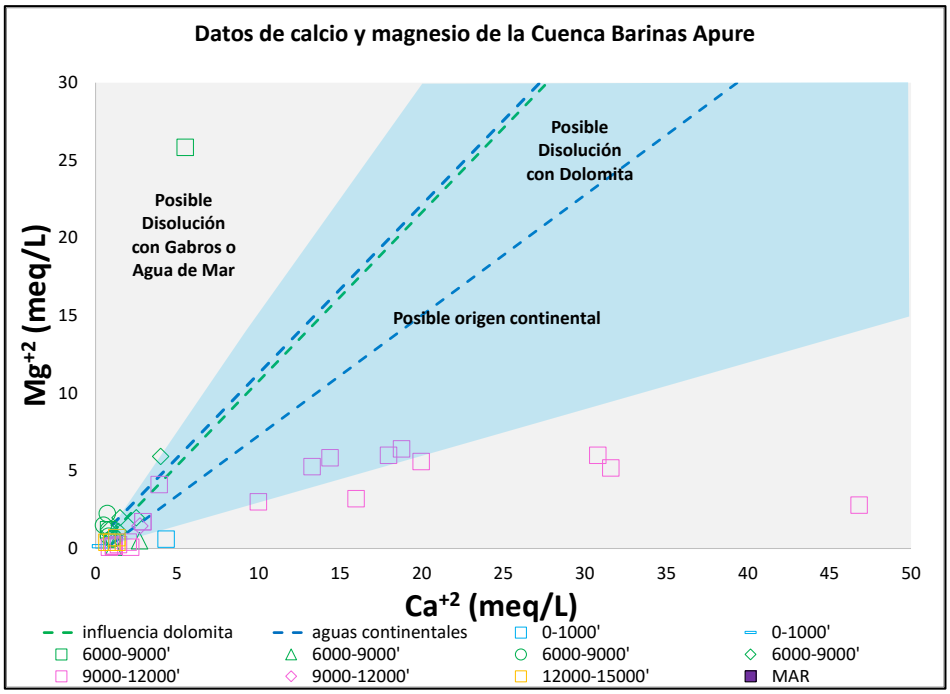


Figura 36. Gráficos de concentraciones en meq/L de calcio y magnesio de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

En resumen, y a partir del comportamiento individual de las muestras en su relación interiónica, se pudieron clasificar los datos disponibles de la Cuenca Barinas Apure en tres grandes grupos aguas dulces, aguas sulfatadas y aguas connatas muy diluidas (Figura 37):

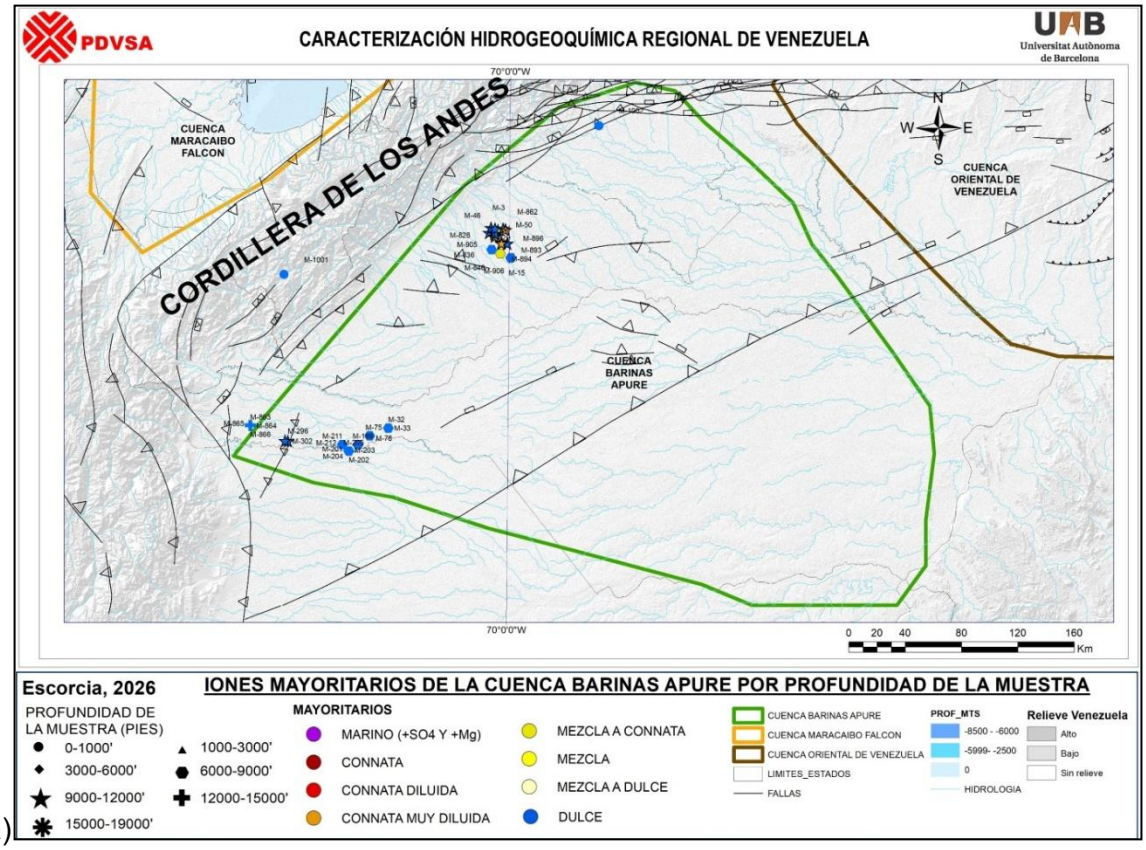
- Las aguas dulces son aguas bicarbonatadas sódicas con bajas concentraciones de los elementos mayoritarios, se ubican en el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), y de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros) y fueron tomadas en formaciones geológicas equivalente a la UDII y a la UDVII.

- Las aguas sulfatadas son aguas sulfatadas sódicas presentan concentraciones relativas altas de sulfato, se ubican en el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000-3.000 metros) y fueron tomadas en formaciones geológicas equivalente a la UDII, UDIV, UDV y UDVI, se infiere que el aporte adicional proviene de la oxidación de sulfuros en las rocas con materia orgánica como la pirita o de la disolución o de la lixiviación de iones como sulfato desde la Cordillera de los Andes.

- Finalmente, las aguas connatas muy diluidas son aguas cloruradas sódicas, se ubican en el intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros) y fueron tomadas en formaciones geológicas equivalente a la UDII y UDIV presentan un patrón de mezcla en todos

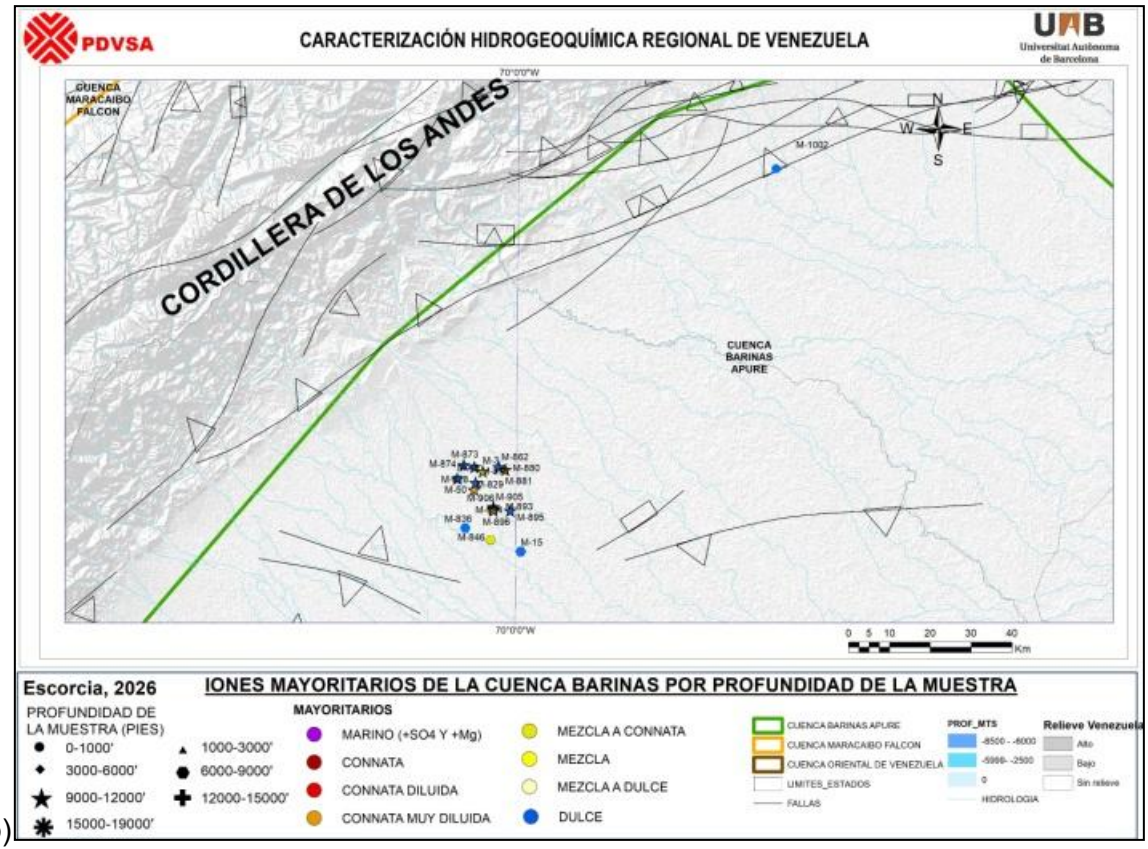
los gráficos probablemente entre aguas connatas y meteóricas, a nivel espacial se ubican en la Cuenca de Barinas.

Existen una serie de interacciones que podrían ocurrir para generar este tipo de composiciones que serán abordadas a más detalle hacia el capítulo VI de simulación fisicoquímica y cinética.



a)

b)



c)

Figura 37. a) Mapa con la clasificaciones asignadas para las muestras por iones mayoritarios con su ubicación geográfica, en relación con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca

Barinas Apure. b) Mapa con la localización de las clasificaciones asignadas para las muestras de agua para la Subcuenca Barinas y c) Mapa con la localización de las clasificaciones asignadas para las muestras de para la Subcuenca Apure.

Elementos minoritarios

Los iones minoritarios con análisis disponibles fueron hierro y sílice ubicados en superficie (Tabla 9). El análisis podría indicar cambios en las condiciones óxido-reducción y tiempos de residencia. La Figura 38 es un gráfico de cajas y bigotes (*Box Plot*) con las concentraciones en ppm de los iones minoritarios reportados en las muestras de agua con análisis hidrogeoquímico disponibles separados por intervalo de profundidad a la cual fue tomada la muestra.

Tabla 9. Resumen de las muestras con datos hidrogeoquímicos disponible por ion minoritario y por rango de profundidad (pies) en el cual fue tomada la muestra en la Cuenca Barinas Apure.

		Cantidad de muestras con dato reportado del Ion minoritario	
		Hierro	Silice
Rango de profundidad (pies)	0-1.000	1	2
	Total	**1**	**2**

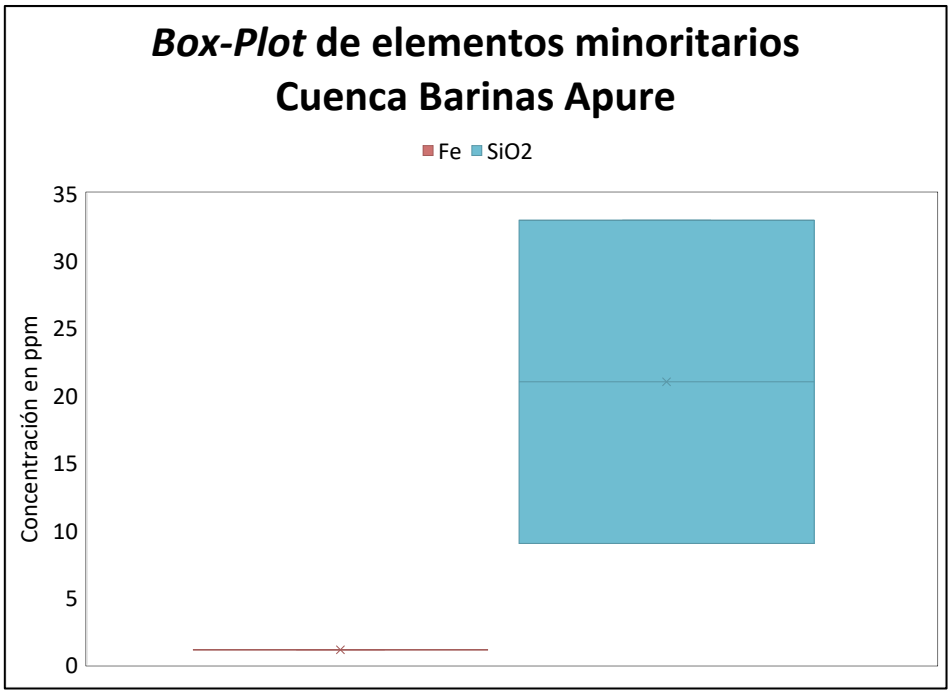


Figura 38. Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes para la Cuenca Barinas Apure de la concentración en ppm de los iones minoritarios analizados en base a la profundidad desde 0 a 1.000 pies equivalentes a 0 a 300 metros. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja).

- Evidencias de cambios en las condiciones de óxido reducción: de acuerdo con lo descrito en la metodología, el dato disponible de la muestra M-1001 mayor a 0,3 mg/L tomada en la UDII

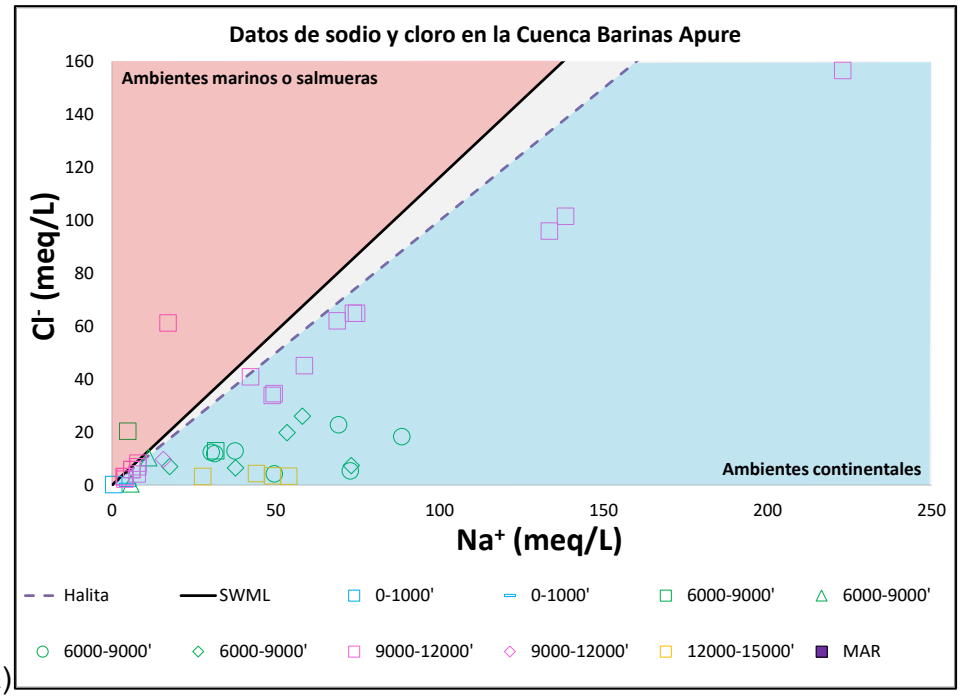
podría ser por actividad antrópica o por una actividad óxido-reducción considerando la litología de la roca caja (Tabla 7).

- Evidencia de tiempos de residencia: Los minerales que tienen una baja tasa de disolución como el cuarzo suelen ser irreconocibles en los análisis fisicoquímicos de las muestras de agua. Existen dos muestras con datos de sílice tomadas en superficie con una concentración inferior a 30 mg/L, por lo cual indica bajos tiempos de residencia en ambientes de altas temperatura.

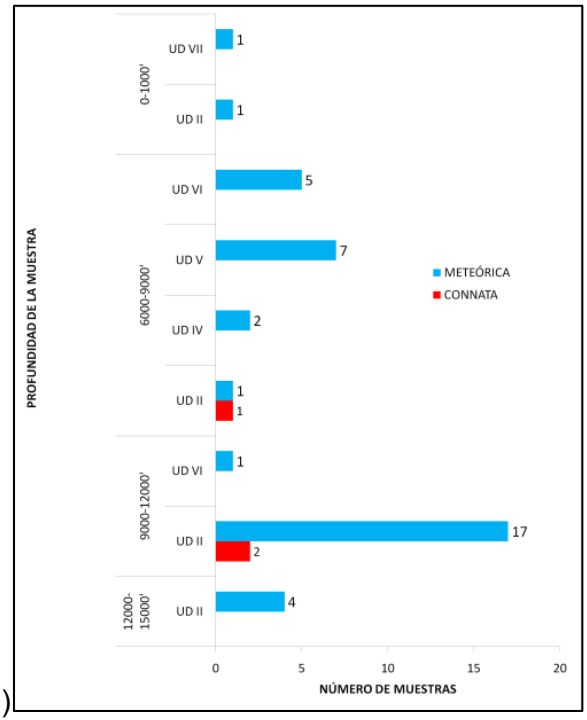
En resumen, una de las muestras en la Cuenca Barinas Apure proviene de una interacción de un ambiente posiblemente reductor, con un tiempo medio de residencia y la otra muestra identifica un largo tiempo de residencia o reacciones a temperaturas elevadas.

V. 1. 3 Concentraciones de sodio y cloro y clasificación de Sulin (1946)

El análisis de los datos disponibles indica que la relación sodio / cloro en la Cuenca Barinas Apure varía de 0,2 a 53, por lo que siguiendo la clasificación de Sulin (1946): 39 muestras corresponden a agua meteórica (valores de Na^+ superiores a Cl^-), de las cuales 28 muestras pueden ser clasificadas como aguas bicarbonatadas sódicas, 9 muestras son aguas sulfatadas sódicas y 3 muestras corresponden a agua connata (valores de Cl- superiores a Na^+), en las cuales 1 muestra se clasificó como agua clorurada cálcica y 2 muestras como agua clorurada magnésica. Las muestras ubicadas a una profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), son las que presentan mayores concentraciones de los iones Na^+ y Cl^- y solo las muestras de formaciones equivalentes a la UDII en profundidades de 6.000-9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros) y 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), son las muestras de agua connata (Figura 39). De acuerdo con la Tabla 7, los depósitos de fosfatos asociados a la UDII pudieran incluir la presencia de minerales evaporíticos como la halita, cuya disolución añadiría cloro al medio. Adicionalmente, los elementos estructurales no parecen definir el tipo de agua en las muestras.

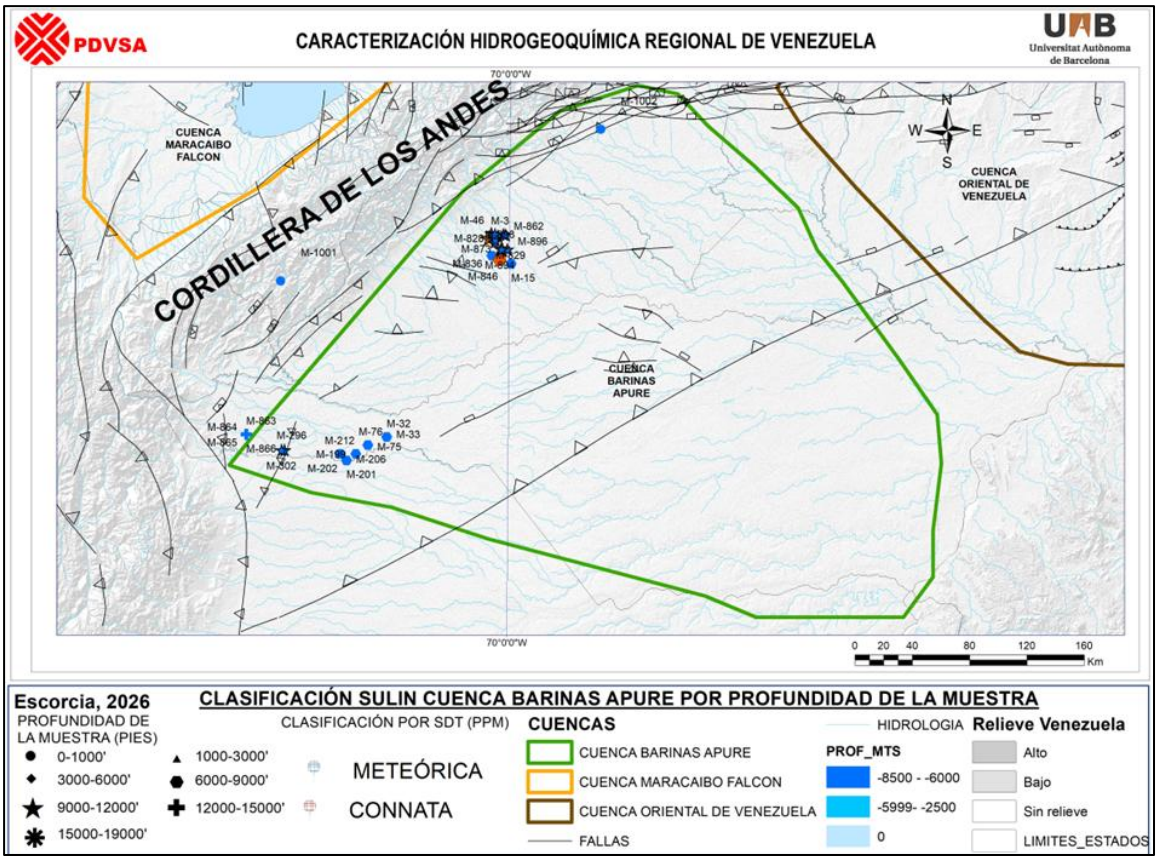

Datos de sodio y cloro en la Cuenca Barinas Apure
Ambientes marinos o salmueras
Ambientes continentales
Cl⁻ (meq/L)
Na⁺ (meq/L)
0
20
40
60
80
100
120
140
160
0
50
100
150
200
250
Halita
SWML
0-1000'
0-1000'
6000-9000'
6000-9000'
6000-9000'
6000-9000'
9000-12000'
9000-12000'
12000-15000'
MAR

a)

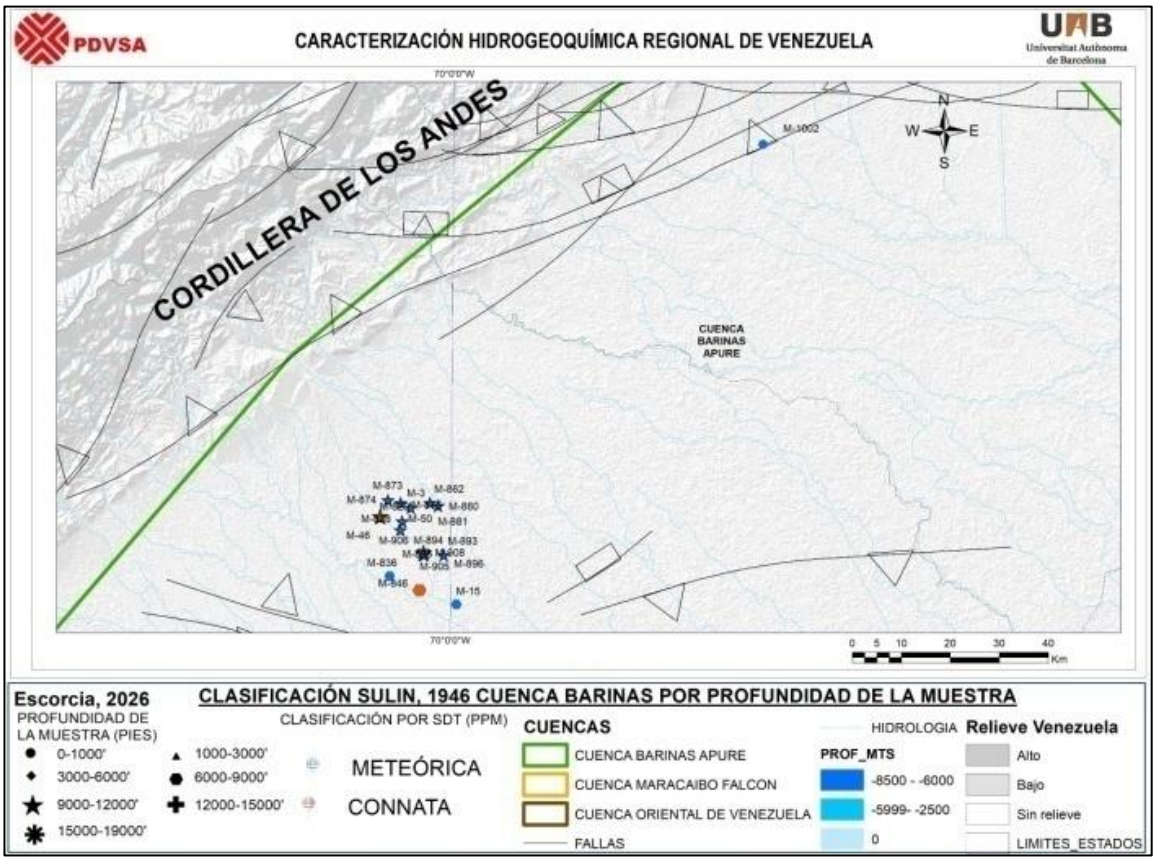

PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA
0-1000'
UD VII
1
UD II
1
6000-9000'
UD VI
5
UD V
7
UD IV
2
UD II
1
1
9000-12000'
UD VI
1
UD II
17
2
12000-15000'
UD II
4
METEÓRICA
CONNATA
0
5
10
15
20
NÚMERO DE MUESTRAS

b)

c)


PDVSA
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL DE VENEZUELA
UAB
Universitat Autònoma de Barcelona
CUENCA MARACAIBO FALCON
CORDILLERA DE LOS ANDES
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
CUENCA BARINAS APURE
M-1002
M-1001
M-46
M-3
M-862
M-896
M-15
M-846
M-32
M-33
M-75
M-76
M-212
M-206
M-201
M-202
M-296
M-866
M-864
M-865
70°0'0"W
0 20 40 80 120 160 Km
Escorcia, 2026
CLASIFICACIÓN SULIN CUENCA BARINAS APURE POR PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (PIES)
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
CLASIFICACIÓN POR SDT (PPM)
METEÓRICA
CONNATA
CUENCAS
CUENCA BARINAS APURE
CUENCA MARACAIBO FALCON
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
FALLAS
HIDROLOGIA
PROF_MTS
-8500 - -6000
-5999- -2500
0
Relieve Venezuela
Alto
Bajo
Sin relieve
LIMITES_ESTADOS

d)


PDVSA
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL DE VENEZUELA
UAB
Universitat Autònoma de Barcelona
CORDILLERA DE LOS ANDES
CUENCA BARINAS APURE
M-1002
M-873
M-874
M-3
M-862
M-860
M-50
M-881
M-46
M-906
M-894
M-893
M-836
M-896
M-846
M-15
70°0'0"W
0 5 10 20 30 40 Km
Escorcia, 2026
CLASIFICACIÓN SULIN, 1946 CUENCA BARINAS POR PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (PIES)
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
CLASIFICACIÓN POR SDT (PPM)
METEÓRICA
CONNATA
CUENCAS
CUENCA BARINAS APURE
CUENCA MARACAIBO FALCON
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
FALLAS
HIDROLOGIA
PROF_MTS
-8500 - -6000
-5999- -2500
0
Relieve Venezuela
Alto
Bajo
Sin relieve
LIMITES_ESTADOS

e)

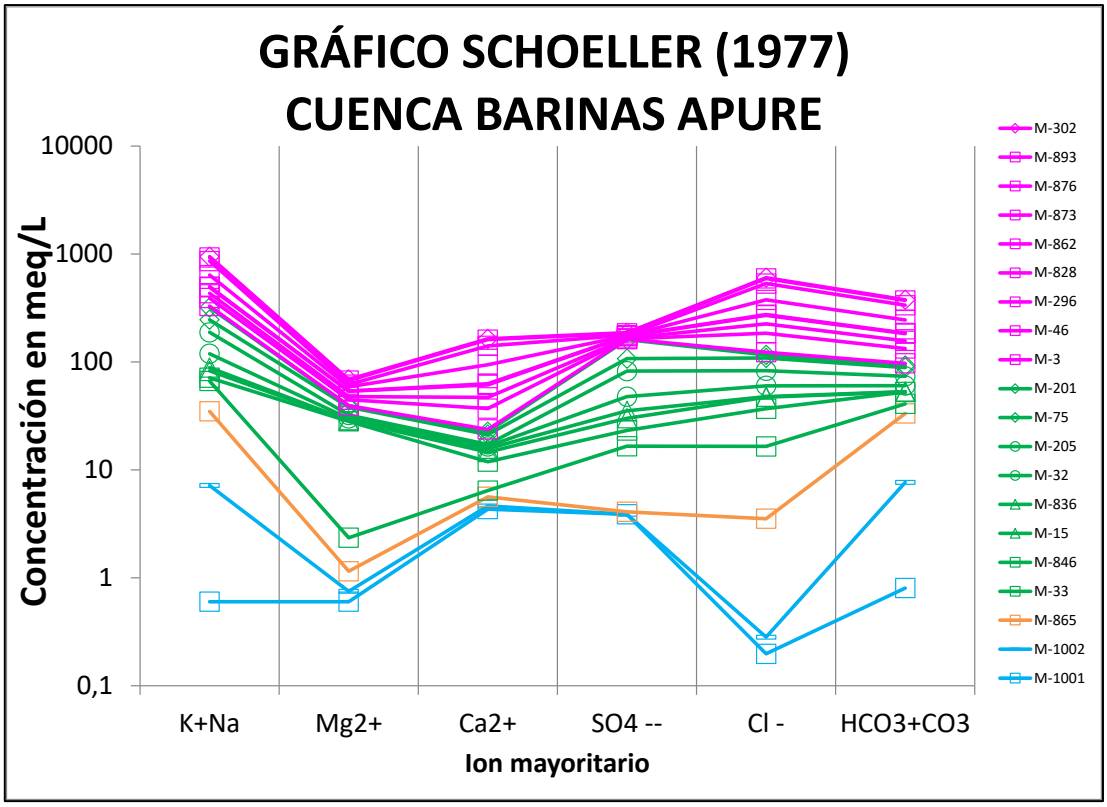
Figura 39. Grupos de aguas identificados a partir de la concentración de sodio y cloro de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946). (a) Gráfico de correlación Na^+/Cl^- en meq/L que diferencia aguas connatas de meteóricas. (b) Gráfico de barras del número de muestras con aguas connatas y meteóricas por rango de profundidad y la Unidad Depositacional. (c) Mapa con la ubicación geográfica y en relación con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Barinas Apure. En color rojo las aguas connatas y en color azul las aguas meteóricas. d) Grupos de aguas identificados a partir de la concentración de sodio y cloro de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946) para la Subcuenca Barinas y e) Grupos de aguas identificados a partir de la concentración de sodio y cloro de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946) para la Subcuenca Apure.

V. 1. 4 Diagramas de elementos mayoritarios y la clasificación de Schoeller (1977)

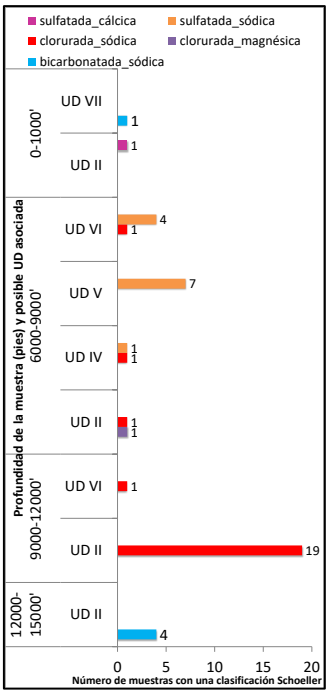
La clasificación de muestras de agua por ubicación geográfica e intervalo de profundidad, a partir de las concentraciones en meq/L de los cationes y aniones, divide los datos en cinco grupos (Figura 40): Hay aguas bicarbonatadas sódicas (5 muestras), cloruradas sódicas (23 muestras), clorurada magnésica (1 muestra), sulfatada cálcicas (1muestra) y sulfatadas sódicas (12 muestras).

Las muestras tomadas entre 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), en general guardan un patrón similar, con muestras cloruradas magnésicas, sódicas y sulfatadas sódicas. Las muestras de agua con características sulfatadas sódicas pueden ser el resultado de una relación con la interacción roca-fluido de rocas con yeso y/o piritas presentes en las litologías equivalentes a la

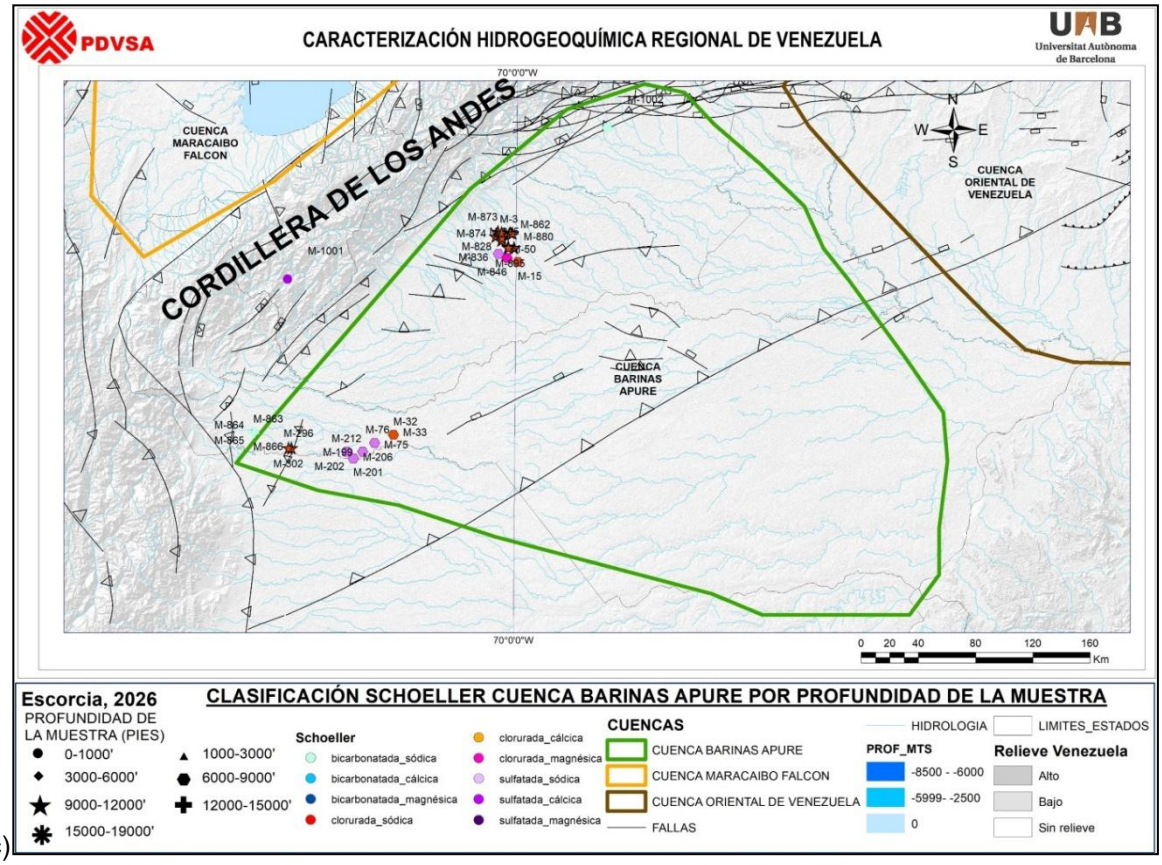
UDII o a la oxidación de pirita y donde los elementos estructurales del área han permitido la percolación de aguas en rocas de otras unidades (Figura 21). Asimismo, el patrón de las muestras entre 0 y 1.000 pies (~0 a 300 metros) y las que se ubican entre 12.000 y 15.000 (~4.000 a 5.000 metros) pies tienen una diferencia en el orden de concentración de los aniones a $[Cl^-]<<[HCO_3^-]$, pero en general son muestras de baja concentración iónica en un patrón que difiere de las muestras a los de las profundidades desde 6.000 a 12.000 pies (2.000 a 4.000 metros). Finalmente, en el intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (3.000 a 4.000 metros) sólo se encuentran aguas cloruradas sódicas.



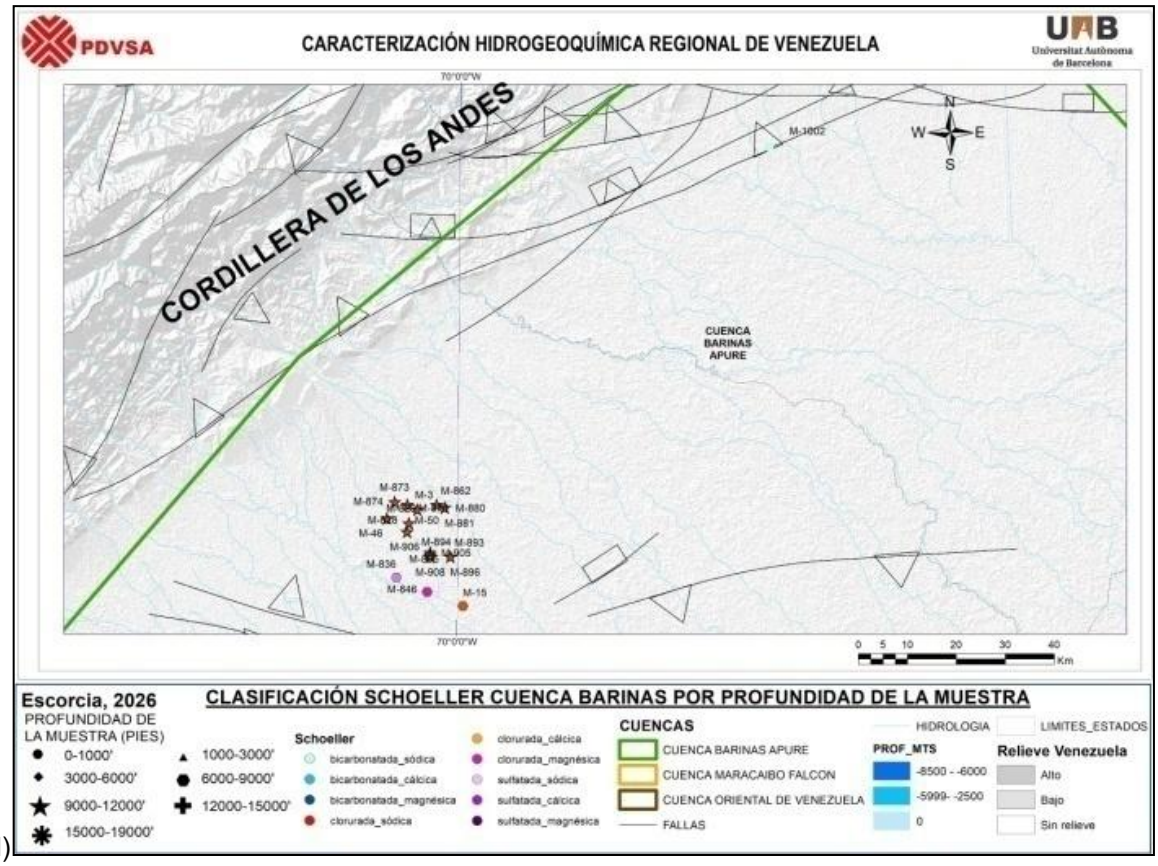
(a)


sulfatada_cálcica
sulfatada_sódica
clorurada_sódica
clorurada_magnésica
bicarbonatada_sódica
Profundidad de la muestra (pies) y posible UD asociada
0-1000'
UD VII
UD II
6000-9000'
UD VI
UD V
UD IV
UD II
9000-12000'
UD VI
UD II
12000-15000'
UD II
Número de muestras con una clasificación Schoeller

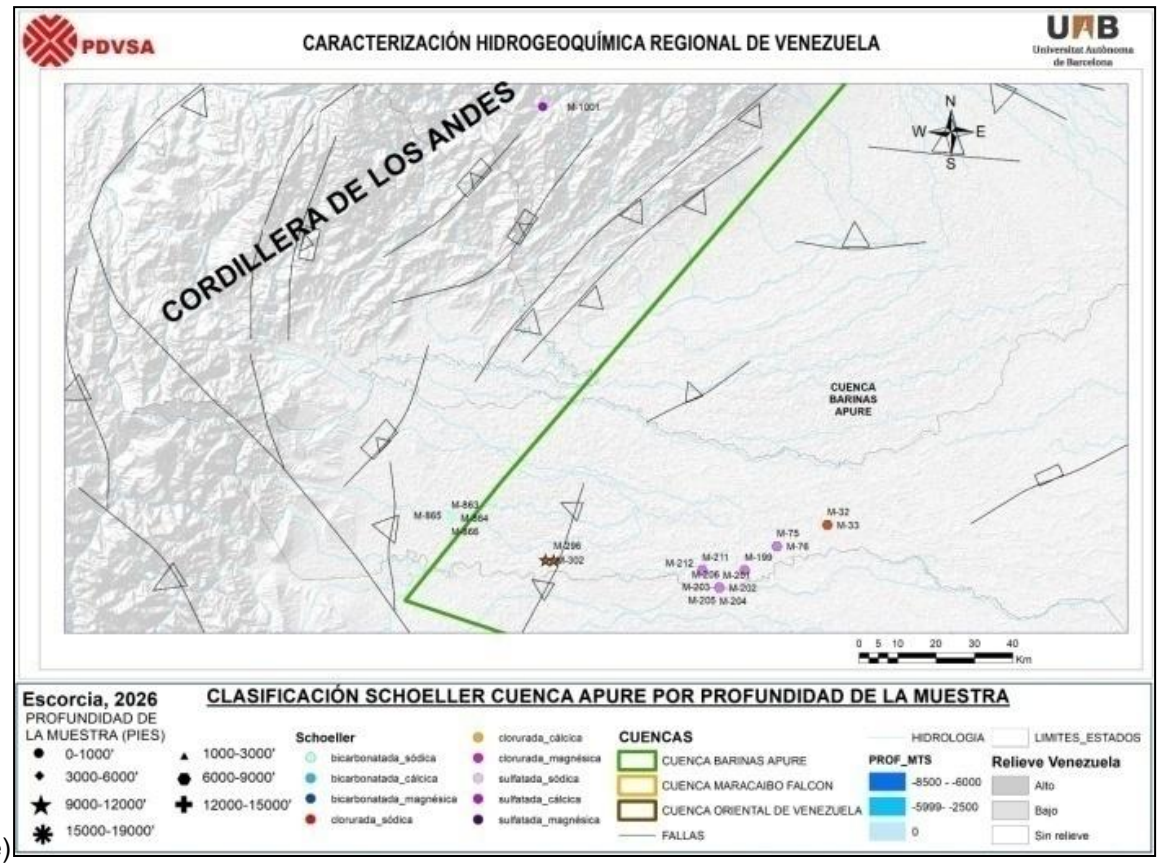
(b)


PDVSA
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL DE VENEZUELA
UAB
Universitat Autònoma de Barcelona
CUENCA MARACAIBO FALCON
CORDILLERA DE LOS ANDES
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
CUENCA BARINAS APURE
70°0'0"W
Escorcia, 2026
CLASIFICACIÓN SCHOELLER CUENCA BARINAS APURE POR PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (PIES)
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
Schoeller
bicarbonatada_sódica
bicarbonatada_cálcica
bicarbonatada_magnésica
clorurada_sódica
clorurada_cálcica
clorurada_magnésica
sulfatada_sódica
sulfatada_cálcica
sulfatada_magnésica
CUENCAS
CUENCA BARINAS APURE
CUENCA MARACAIBO FALCON
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
FALLAS
HIDROLOGIA
LIMITES_ESTADOS
PROF_MTS
-8500 - -6000
-5999- -2500
0
Relieve Venezuela
Alto
Bajo
Sin relieve
Km

(c)



d)



(e)

Figura 40. (a) Grupos identificados de acuerdo con la clasificación de Schoeller (1977) en al menos una muestra por campo petrolífero de la Cuenca Barinas Apure. (b) Gráfico de barras del número de

muestras en cada clasificación por rango de profundidad y la Unidad Depositacional, (c) Ubicación de las muestras con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Barinas Apure, en relación con los patrones de sus iones mayoritarios: sulfatada sódica (naranja), bicarbonatada magnésica (verde), bicarbonatada sódica (azul claro) y clorurada sódica (rojo). (d) Mapa con la localización de las muestras de agua para la Subcuenca Barinas y (e) Mapa con la localización de las muestras de agua para la Subcuenca Apure.

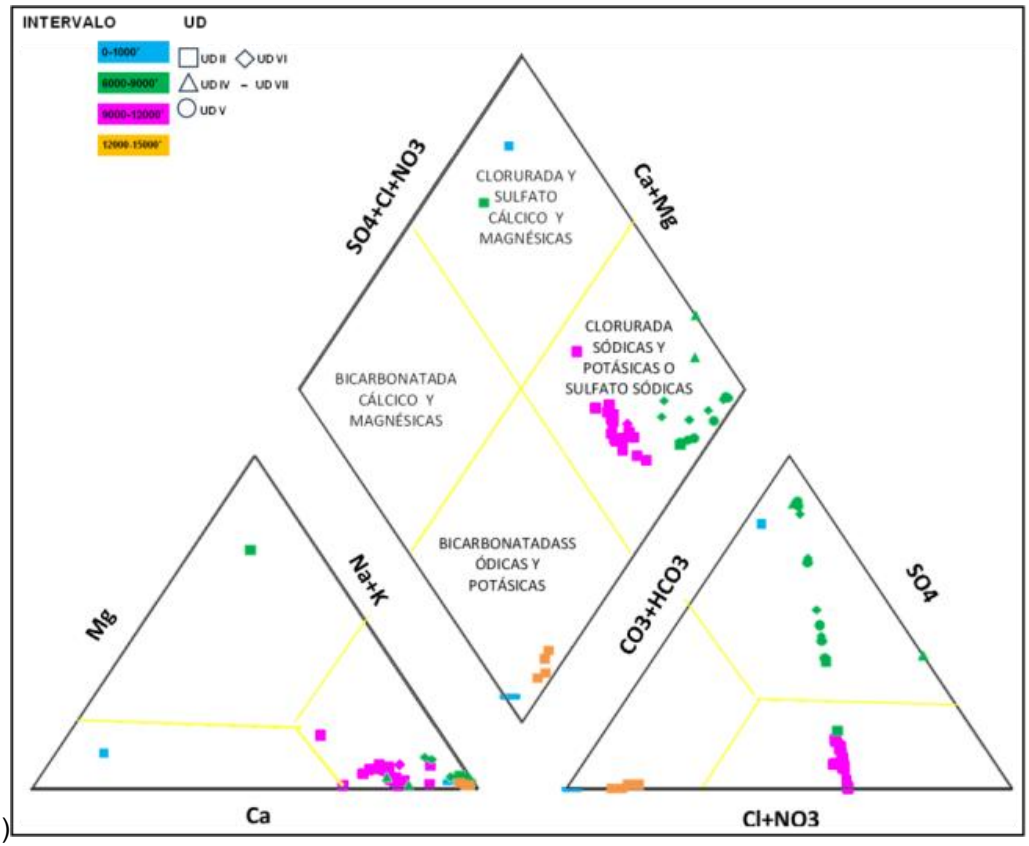
V. 1. 5 Clasificación de diagrama múltiple triangular de Piper (1944)

De acuerdo con la clasificación de Piper (1944) las muestras de la Cuenca Barinas Apure se encuentran en tres rombos del diagrama múltiple triangular donde la mayor cantidad de muestras se encuentran asociadas al segmento clorurado sódica relacionada con la presencia de aguas connatas en el medio, con un largo tiempo de residencia, en segundo lugar, las aguas bicarbonatadas sódicas como posible producto del proceso de aguas de mezclas (Figura 41):

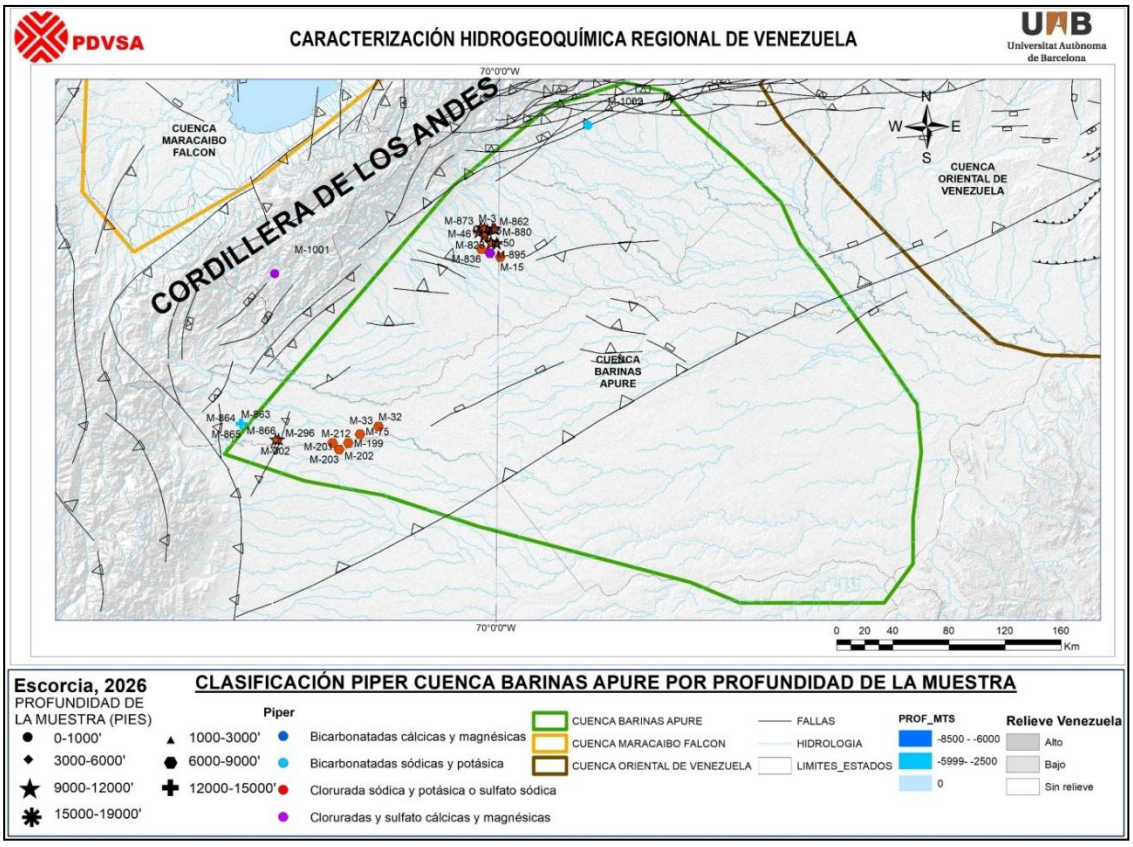
- En la región de aguas clorurada sódica y potásica o sulfato sódicas se encuentran 35 muestras diferenciables en dos subgrupos en relación con la profundidad y con la concentración de sulfato y cloruro; en una línea vertical observable en el diagrama ternario de aniones. Las muestras enriquecidas relativamente en sulfato fueron tomadas en un intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), de color verde en el gráfico y sin un patrón específico en el diagrama compuesto. Las muestras enriquecidas relativamente en cloruros fueron tomadas en un intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros) de color fucsia en el gráfico y presentan una alineación en el diagrama compuesto que podría indicar un proceso de mezcla de aguas. En ambos casos, la proveniencia de estas muestras de agua pudiera estar asociada a salmueras, composición igual a la del agua de mar y/o una interacción con rocas sedimentarias.

- En la región de aguas bicarbonatadas sódicas y potásicas se encuentran 5 muestras diferenciables por el color asignado a la muestra. Las muestras identificadas con el color naranja fueron tomadas en profundidades entre 12.000 y 15.000 pies (~4.000-5.000 m), y presentan una alineación de enriquecimiento relativo en la concentración de bicarbonato a pesar de ubicarse en el mismo punto geográfico. La muestra identificada con el color azul claro se ubica en el extremo inferior del tipo de muestra indicando una buena similitud y fue tomada en una profundidad entre 0 y 1.000 pies (~0 a 300 metros). En ambos casos, este tipo de muestras de agua suele ser característica de un intercambio iónico con aguas meteóricas.

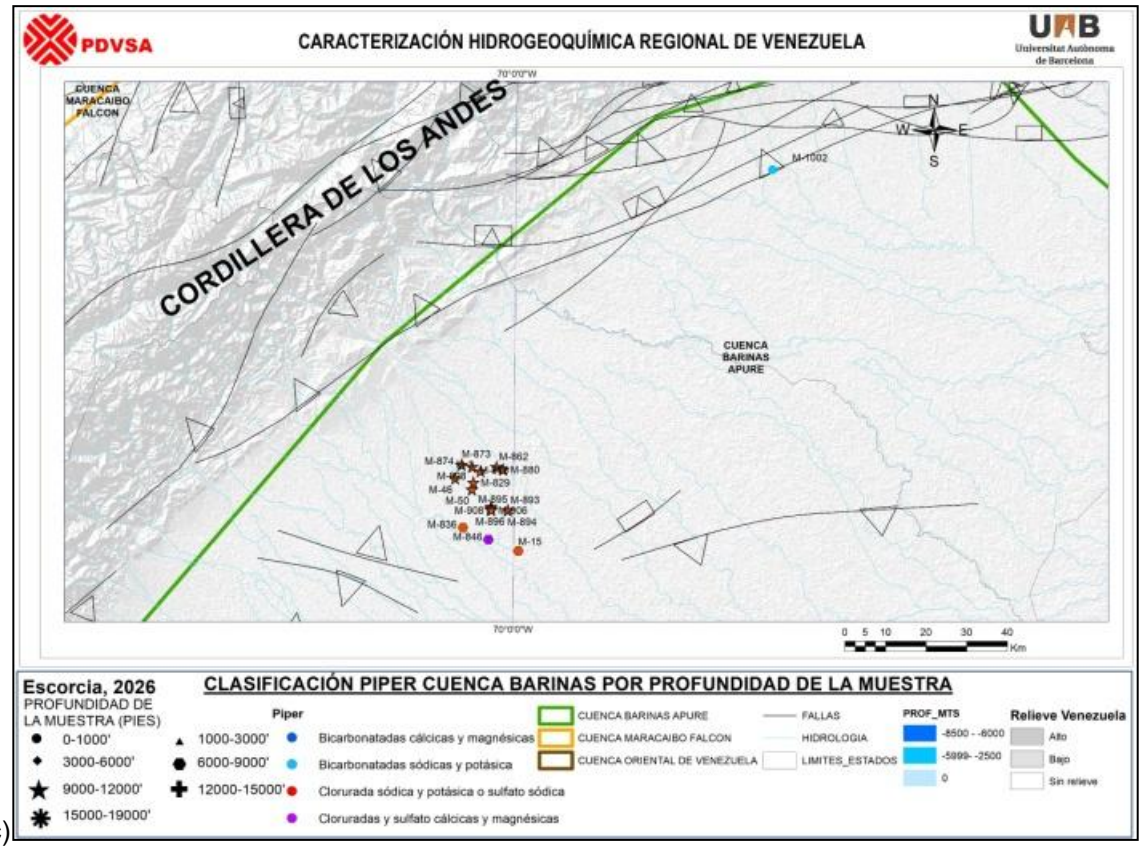
- Finalmente, en la región de aguas cloruradas y sulfato cálcicas y magnésicas se encuentran 2 muestras tomadas en los intervalos de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) y de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros) y pudiera ser característica de oxidación de sulfuros, contaminación minera o actividad bacteriana.


INTERVALO
UD
0-1000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
UD II
UD VI
UD IV
UD VII
UD V
SO4+Cl+NO3
Ca+Mg
CLORURADA Y SULFATO CÁLCICO Y MAGNÉSICAS
CLORURADA SÓDICAS Y POTÁSICAS O SULFATO SÓDICAS
BICARBONATADA CÁLCICO Y MAGNÉSICAS
BICARBONATADASS ÓDICAS Y POTÁSICAS
Mg
Na+K
Ca
CO3+HCO3
SO4
Cl+NO3

(a)


PDVSA
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL DE VENEZUELA
UAB
Universitat Autònoma de Barcelona
70°0'0"W
CUENCA MARACAIBO FALCON
CORDILLERA DE LOS ANDES
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
CUENCA BARINAS APURE
M-1001
M-1009
M-873
M-3
M-862
M-880
M-50
M-895
M-15
M-836
M-864
M-863
M-865
M-866
M-296
M-212
M-33
M-32
M-75
M-199
M-202
M-203
N
W
E
S
0 20 40 80 120 160
Km
Escorcia, 2026
CLASIFICACIÓN PIPER CUENCA BARINAS APURE POR PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (PIES)
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
Piper
Bicarbonatadas cálcicas y magnésicas
Bicarbonatadas sódicas y potásica
Clorurada sódica y potásica o sulfato sódica
Cloruradas y sulfato cálcicas y magnésicas
CUENCA BARINAS APURE
CUENCA MARACAIBO FALCON
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
FALLAS
HIDROLOGIA
LIMITES_ESTADOS
PROF_MTS
-8500 - -6000
-5999- -2500
0
Relieve Venezuela
Alto
Bajo
Sin relieve

(b)



(c)

(d)

Figura 41. (a)Grupos identificados de acuerdo con la clasificación de Piper (1944) para las muestras de agua de las Cuenca Barinas Apure, distribuidas en los cuatro rombos de la clasificación de Piper:

clorurada sódica y potásica o sulfato sódica; bicarbonatada sódica y potásica, clorurada y sulfato cálcica y magnésica, y bicarbonatada cálcico y magnésica. Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. (b) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras y con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Barinas Apure. c) Zoom para la Subcuenca Barinas y d) Zoom para la Subcuenca Apure.

V. 1. 6 Patrones en las muestras de agua y la clasificación de Stiff (1951)

La clasificación de Stiff, (1951), permite generar figuras o patrones de agua específicos que hacen a las muestras diferenciables entre ellas. El análisis realizado indica que las aguas de la Cuenca Barinas Apure siguen 5 patrones o grupos. El mayor porcentaje de las muestras fue categorizado como aguas cloruradas sódicas o forma de embudo, suele ser característica de aguas con alto tiempo de residencia con composiciones posiblemente asociadas al agua de mar y también se identifica una interesante cantidad de aguas sulfatadas en relación con el total de muestras (Figura 42):

- Aguas bicarbonatadas sódicas, con un patrón de visto bueno, identificado en 5 muestras tomadas en el rango de profundidad desde 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) y desde 12.000 a 15.000 pies, que suelen estar asociadas a aguas de intercambio iónico con bajo tiempo de residencia.

- Aguas cloruradas sódicas diluida, con un patrón de embudo y bajas concentraciones de iones mayoritarios, identificado en 23 muestras, con distinciones en las características de acuerdo con la profundidad de las muestras, entre 6.000 y 9.000 pies (3 muestras) se encuentran enriquecidas relativamente con sulfato y entre 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros) no y se encuentran preferencialmente en la Cuenca de Barinas. Las primeras pudieran relacionarse con un proceso de mezcla desde las aguas sulfatadas.

- Agua clorurada magnésica identificada en una muestra tomada en formaciones equivalentes a la UDII en el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros).

- Aguas sulfatadas sódicas identificado en 12 muestras ubicadas entre 6.000 y 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros) que pudieran estar asociadas a la disolución de minerales como yeso o a la oxidación de pirita.

- Agua sulfatada cálcica identificada en una muestra tomada en la UDII a nivel de superficie, asociada a un agua termal a temperaturas aproximadas de 100°C.

a)

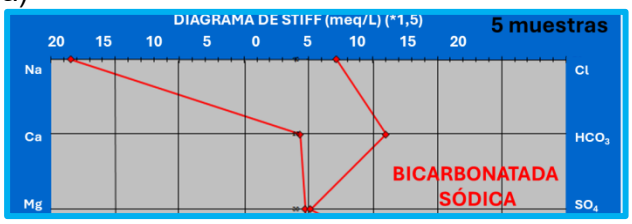


DIAGRAMA DE STIFF (meq/L) (*1,5)
5 muestras
20 15 10 5 0 5 10 15 20
Na
Ca
Mg
Cl
HCO3
SO4
BICARBONATADA SÓDICA

b)

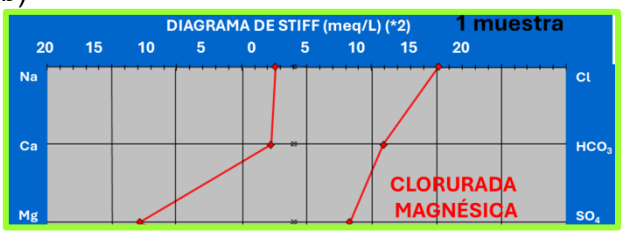


DIAGRAMA DE STIFF (meq/L) (*2)
1 muestra
20 15 10 5 0 5 10 15 20
Na
Ca
Mg
Cl
HCO3
SO4
CLORURADA MAGNÉSICA

c)

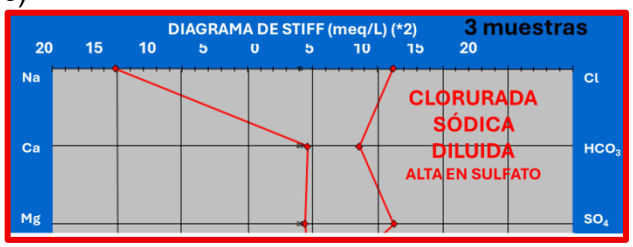


DIAGRAMA DE STIFF (meq/L) (*2)
3 muestras
20 15 10 5 0 5 10 15 20
Na
Ca
Mg
Cl
HCO3
SO4
CLORURADA SÓDICA DILUIDA
ALTA EN SULFATO

d)

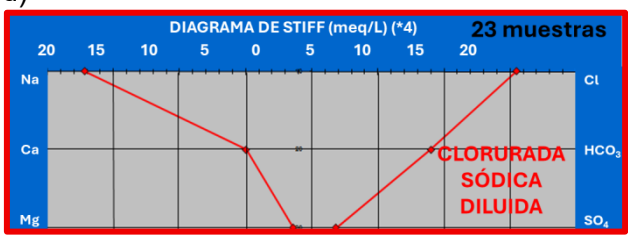


DIAGRAMA DE STIFF (meq/L) (*4)
23 muestras
20 15 10 5 0 5 10 15 20
Na
Ca
Mg
Cl
HCO3
SO4
CLORURADA SÓDICA DILUIDA

e)

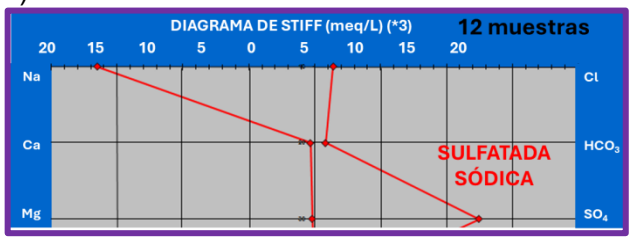


DIAGRAMA DE STIFF (meq/L) (*3)
12 muestras
20 15 10 5 0 5 10 15 20
Na
Ca
Mg
Cl
HCO3
SO4
SULFATADA SÓDICA

f)

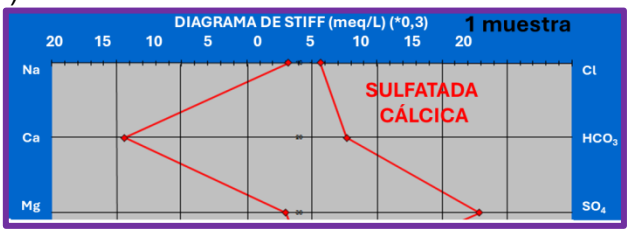
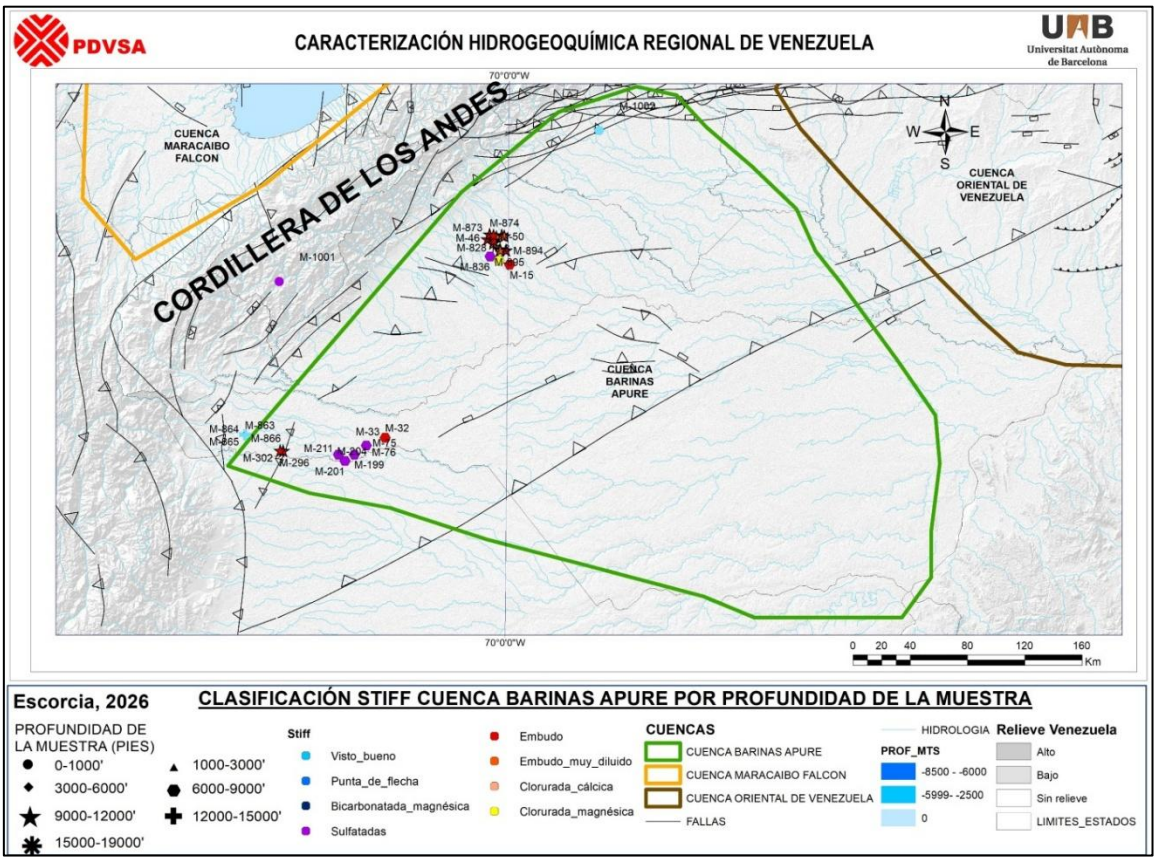
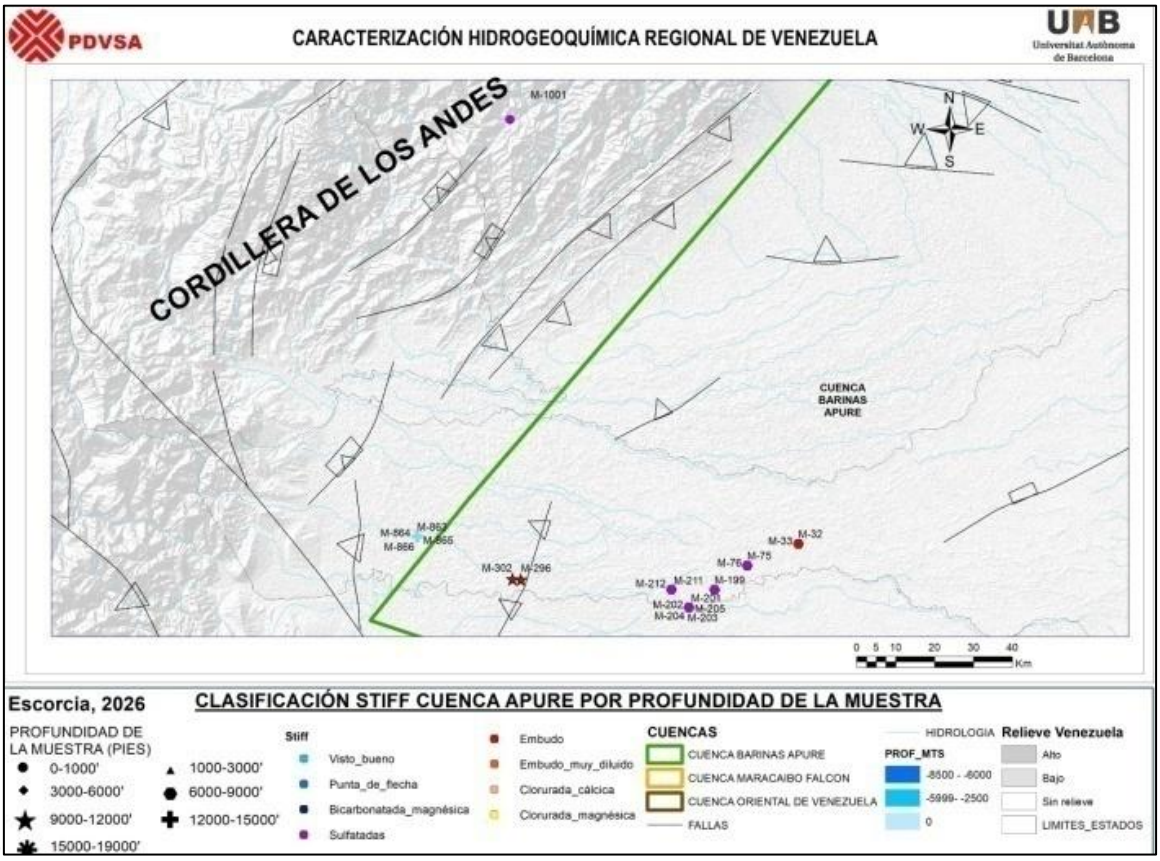


DIAGRAMA DE STIFF (meq/L) (*0,3)
1 muestra
20 15 10 5 0 5 10 15 20
Na
Ca
Mg
Cl
HCO3
SO4
SULFATADA CÁLCICA

g)


PDVSA
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL DE VENEZUELA
UAB
Universitat Autònoma de Barcelona
CORDILLERA DE LOS ANDES
CUENCA MARACAIBO FALCON
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
CUENCA BARINAS APURE
70°0'0"W
N
W
E
S
M-1062
M-1001
M-873
M-874
M-46
M-50
M-828
M-894
M-836
M-895
M-15
M-864
M-865
M-863
M-866
M-302
M-296
M-211
M-201
M-199
M-33
M-32
M-76
0 20 40 80 120 160
Km
Escorcia, 2026
CLASIFICACIÓN STIFF CUENCA BARINAS APURE POR PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (PIES)
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
Stiff
Visto_bueno
Punta_de_flecha
Bicarbonatada_magnésica
Sulfatadas
Embudo
Embudo_muy_diluido
Clorurada_cálcica
Clorurada_magnésica
CUENCAS
CUENCA BARINAS APURE
CUENCA MARACAIBO FALCON
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
FALLAS
HIDROLOGIA
PROF_MTS
-8500 - -6000
-5999- -2500
0
Relieve Venezuela
Alto
Bajo
Sin relieve
LIMITES_ESTADOS

h)



i)

Figura 42. Grupos identificados en la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con la clasificación de Stiff (1951) en el orden de aparición: (a) bicarbonatada sódica (patrón de visto bueno), (b) clorurada

magnésica, (c y d) clorurada sódica (patrón de embudo), (e) sulfatada sódica y (f) sulfatada cálcica. (g) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras con relación a la clasificación de Stiff, redes hidrográficas y elementos estructurales de la CBA. h) Mapa con la localización de las muestras de agua para la Subcuenca Barinas e i) Mapa con la localización de las muestras de agua para la Subcuenca Apure.

V. 2. Cuenca Maracaibo Falcón

La Cuenca Maracaibo Falcón tiene un registro sedimentario con edades de depositación desde el periodo Jurásico al reciente. Las 249 muestras de agua disponibles para esta investigación se encuentran ubicadas en intervalos de profundidad desde superficie hasta 18.000 pies (0 a 6.000 metros) tomadas en formaciones geológicas equivalentes a las unidades depositacionales UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII con edades de depositación desde el periodo Cretácico al presente (Figura 43).

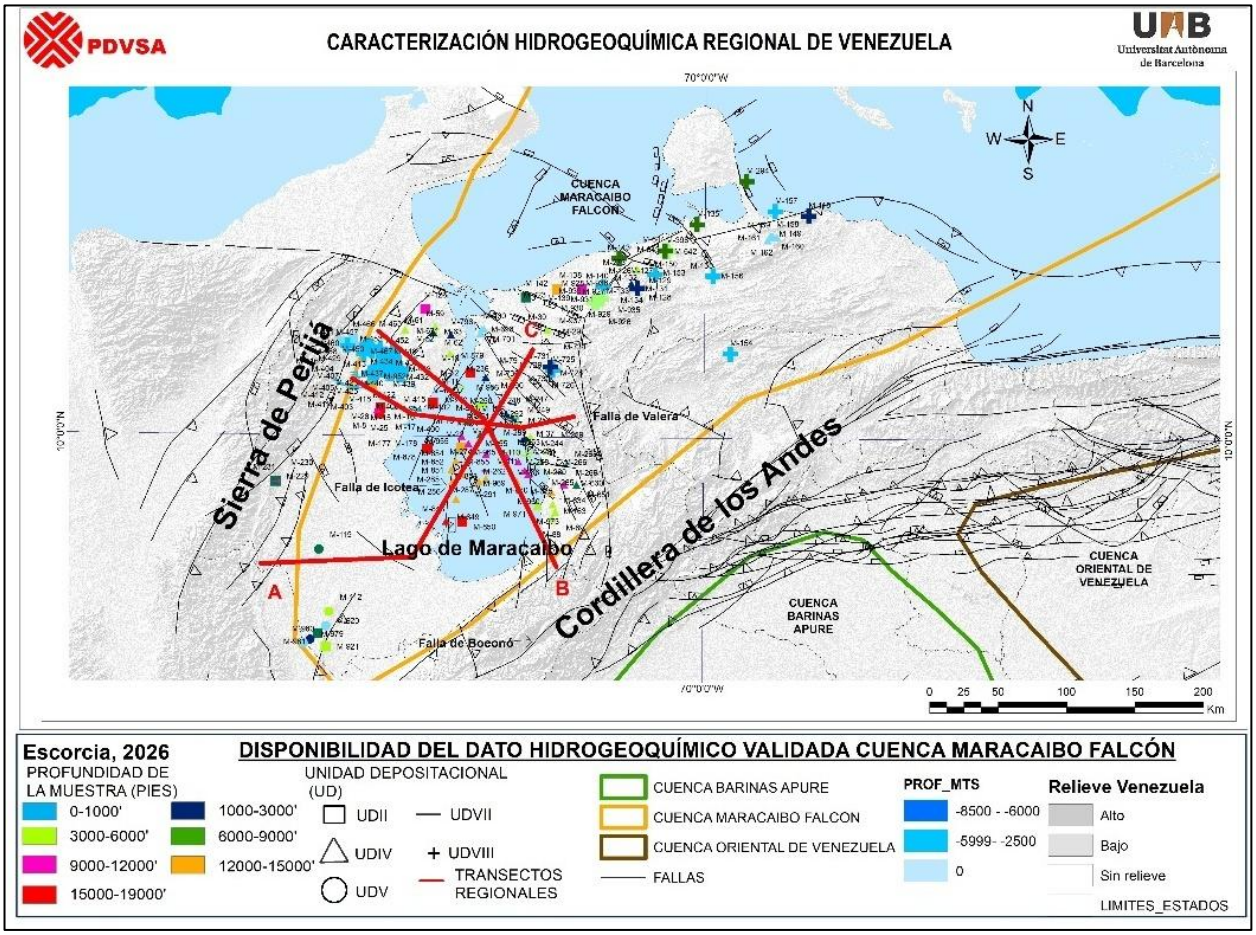


Figura 43. Mapa de localización de datos hidrogeoquímicos validados de la Cuenca Maracaibo Falcón con los principales elementos estructurales e hidrogeografía regional. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

La Cuenca de Maracaibo es una depresión topográfica limitada por dos altos estructurales, al sureste la Cordillera de los Andes con alturas cercana a los 5.000 metros sobre el nivel del mar y la

Sierra de Perijá en el oeste en la frontera con Colombia con alturas de 3.000 metros sobre el nivel del mar, desde los cuales se genera gran parte de los ríos y escorrentías de la zona. En la historia tectonoestratigráfica de esta cuenca es importante resaltar que desde el Eoceno al Mioceno cambio el eje de depositación y la dirección de aporte con lo cual existe un basculamiento de los sedimentos. En especial al este, Cuenca de Falcón las rocas de la UDIV fueron erosionadas y se ubican cercanas a superficie.

Desde el punto de vista estructural existen fallas normales, transcurrentes e inversas activas hoy en día. Las fallas con una edad de activación estimada en el periodo Jurásico son fallas normales de extensión y las más recientes con una edad de activación desde la época del Eoceno son fallas inversas y transcurrentes generadas con la colisión de la Placa de Caribe con la placa suramericana. La Figura 44 es una visualización de los principales elementos estructurales y sedimentarios de la Cuenca de Maracaibo. En general son fallas de alto buzamiento que en mayor parte de la cuenca se encuentran cegadas por los sedimentos del Mioceno.

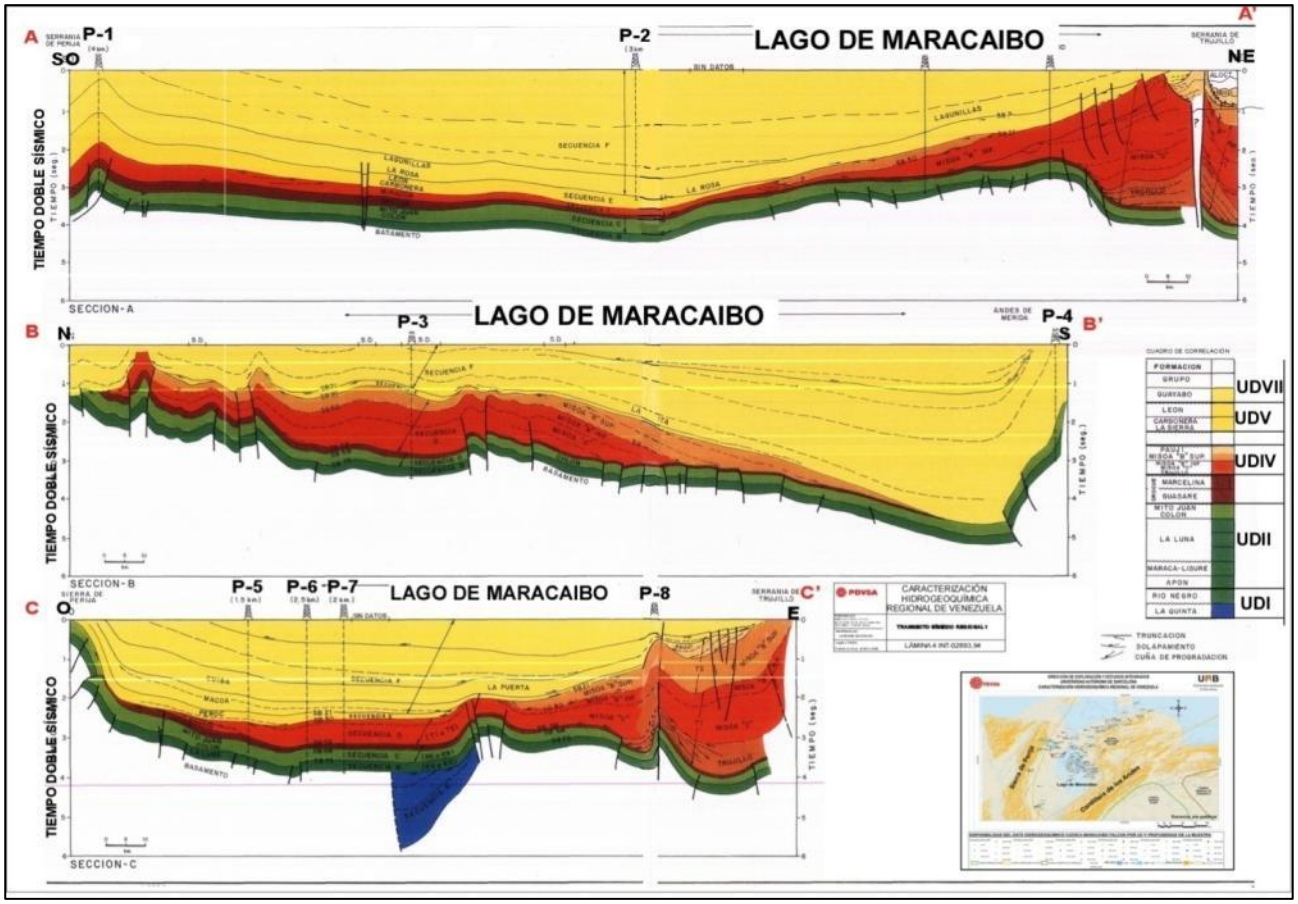


Figura 44. Transectos en dirección OE y NS de la Cuenca Maracaibo Falcón para visualizar las profundidades y sedimentos afectados por los elementos estructurales del área; así como las direcciones preferenciales de migración de los fluidos meteóricos (Modificado de Parnoud *et al.*, 1994).

Asimismo, su límite al norte es el Mar Caribe lo cual disminuye la distancia al continente en las aguas de lluvia y aumenta la inserción de iones como sulfato y cloruro a las muestras de agua (Figura 44). Adicionalmente, existen en la cuenca a nivel de superficie elementos hidrográficos que se encuentran activos en la ubicación de las muestras. Para una mejor comprensión de los procesos hidrogeoquímicos que pueden estar ocurriendo, la Tabla 10 es una representación de los posibles iones que se pudieran estar liberando en la interacción roca agua, a partir de las litologías que componen las rocas de cada Unidad Depositacional.

Tabla 10. Identificación de los iones mayoritarios que pueden aportarse en el intercambio iónico entre roca y agua en la Cuenca Maracaibo Falcón (++): debe aportar presencia en el medio (+): posiblemente aporta presencia al medio y (-): no aporta presencia al medio

Grupo	Formación	Litología	Iones que puede aportar al medio							UD
			Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^- $+CO_3^{2-}$	
	Rio Negro	Areniscas, conglomerados, arcillas y lutitas amarillas, rojas y moradas	(+)	(++)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	UDI
Cogollo	Apón	Calizas muy fosilíferas con lutita gris calcárea	(+)	(+)	(++)	(+)	(-)	(-)	(++)	UDII
		Calizas fosilíferas tipo pack Stone	(-)	(-)	(++)	(+)	(-)	(-)	(++)	
		Calizas grises fosilíferas, con lutitas oscuras a negras, micáceas y carbonosas, con areniscas cuarcíticas localmente calcáreas.	(-)	(++)	(++)	(+)	(-)	(-)	(++)	
	Lisure	Calizas bioclásticas glauconíticas	(-)	(++)	(++)	(+)	(-)	(-)	(++)	
	Maraca	Calizas arenosas	(-)	(-)	(++)	(+)	(-)	(-	(++)	
	Colón	Lutitas fosilíferas piríticas micáceas o glauconíticas, con margas, caliza	(+)	(++)	(++)	(+)	(++)		(++)	
	La Luna	Calizas pelágicas carbonáceas a bituminosas con abundante materia orgánica y concreciones	(-)	(-)	(++)	(+)	(+)	(-)	(++)	
	Los Cuervos	Arcillitas y lutitas con capas de carbón areniscas	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(++)	UDIII
	Misoa	Areniscas con lutitas laminadas micáceas	(+)	(++)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	UDIV
		Areniscas lenticulares capas delgadas de lutita	(+)	(++)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	
		Intercalaciones de lutitas y areniscas	(+)	(++)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	
	Paují	Arenas basales limolíticas de grano fino con lutitas al tope	(+)	(++)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	
	Mirador	Areniscas blancas gránulos o guijarros de cuarzo material carbonáceo	(+)	(++)	(+)	(+)	(-)	(-)	(++)	UDV
	Carbonera	Arcilitas y lutitas con areniscas arcillosas, lignitos y calizas	(+)	(++)	(++)	(+)	(-)	(-)	(++)	
	Isnotú	Arcillas rojas y Conglomerados, arcillas (65%) carbón y conglomerado	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(++)	UDVII
	La Puerta	Arcilitas, limolitas y areniscas masivas	(+)	(++)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	
	La Rosa	Lutitas verdosas fosilíferas con areniscas	(+)	(+)	(++)	(++)	(-)	(-)	(++)	
		Areniscas arcillosa lutitas verdosas con areniscas	(+)	(++)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	
	Lagunillas	Lutitas arcillitas arenas	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	
	Los Ranchos	Aumento de areniscas y cambios de color de las arcillitas de rojo a gris oscuro	(+)	(++)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	
	Agua Clara	Lutitas con pocas areniscas interestratificadas	(+)	(++)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	UDVIII
		Lutitas limosas ferruginosas negruzcas concrecionarias con yeso	(+)	(+)	(++)	(+)	(++)	(-)	(-)	
	Castillo	Capas de areniscas y conglomerados limolitas y arcillas, capas de carbón. Guijarros de cuarzo blanco y areniscas calcáreas cementados por óxidos de hierro	(+)	(++)	(++)	(+)	(-)	(-)	(+)	
	Cerro Pelado	Lutita gris oscuro con capas de areniscas cuarzosas	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	
	El Milagro	Arenas muy micáceas, de color crema a pardo-rojizo, limos micáceos y lentes lateríticos bien cementados. Abundantes nódulos de hierro	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	
	Socorro	Lutitas grises a verdosas calcáreas con areniscas calcáreas	(+)	(++)	(++)	(+)	(-)	(-)	)	

	Urumaco	Areniscas calcáreas, caliza	(+)	(++)	(++)	(+)	(-)	(-)	(++)	

V. 2. 1 Sólidos disueltos totales y clasificación de Hem (1970)

En base a la cantidad de sólidos disueltos totales (SDT), en un rango de 6 a 186.000 mg/L, las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón se consideran aguas dulces (72 muestras), aguas salobres (132 muestras), aguas salinas (24 muestras) y salmueras (21 muestras) de acuerdo con Hem (1970). Las diferencias se podrían relacionar con los iones en el medio que aporta la litología presente (Figura 45,Tabla 10). Los puntos que cabe resaltar se explican a continuación.

- La distribución del contenido de sólidos disueltos totales de acuerdo con la clasificación de Hem (1970) no se restringe a un rango de profundidad o a una unidad depositacional en específico, sino que varía la proporción de una categoría a otra.

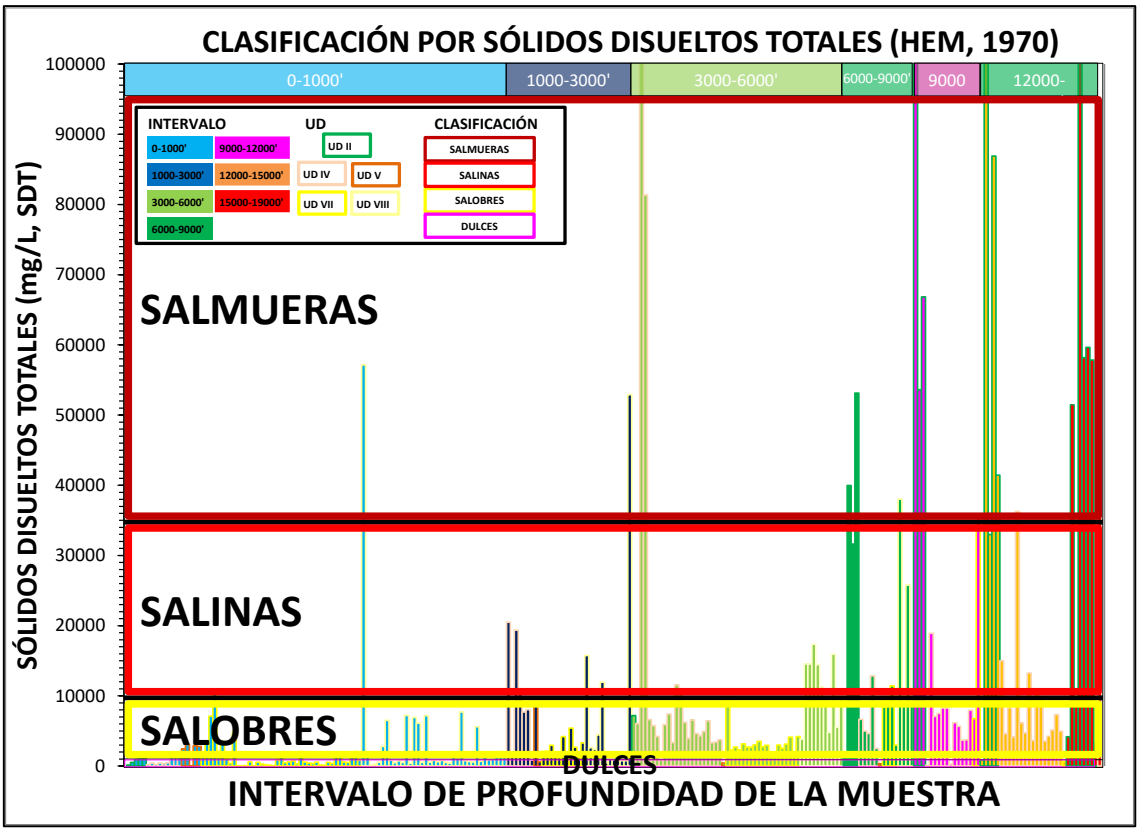
- Las muestras con contenido de SDT bajo, clasificadas como dulces (rectángulo de borde rosa en la Figura 45), se encuentran mayoritariamente en el intervalo de profundidad 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), lo cual es coherente con el intercambio iónico que ocurre en la superficie con agua de lluvia y de precipitación. En el mapa se encuentran distribuidas mayoritariamente en el Río El Palmar perteneciente a la cuenca hidrográfica del Lago de Maracaibo. Las muestras en profundidades hasta 6.000 pies (~2.000 metros) (bandas superiores de color azul y verde claro, en la Figura 45), asociadas a la Cuenca de Falcón con bajo SDT suelen estar cercanas a las fallas transcurrentes de expresión en superficie, el sistema de fallas de Oca-Acón. Por otra parte, en la Cuenca de Maracaibo, algunas de estas muestras a profundidades superiores a los 6.000 pies (~2.000 metros) (banda superior de color verde oscuro, fucsia, naranja y rojo, en la Figura 45) se encuentran cercanas a la Sierra de Perijá.

- Las muestras con una clasificación de salobres (rectángulo de borde amarillo en la Figura 45), son las más comunes en la cuenca y podrían ser indicativas de un proceso de mezcla de agua entre las aguas de formación o aguas connatas y aguas de menor tiempo de residencia. Las muestras que se encuentran a niveles superficiales se pueden asociar a una mezcla con aerosol marino (Calvo Gordaliza *et al*., 2009) o a la mezcla con el agua del Lago de Maracaibo y nuevamente se encuentran ubicadas mayoritariamente en el Río El Palmar. En el rango de profundidad de 1.000 a 6.000 pies (~300 a 2.000 metros) (bandas superiores de color azul oscuro y verde claro, en la Figura 45) las muestras se encuentran geográficamente al lado este del Lago de Maracaibo y al oeste de la Cuenca de Falcón, posiblemente por la influencia de la composición similar al agua de mar del Lago de Maracaibo.

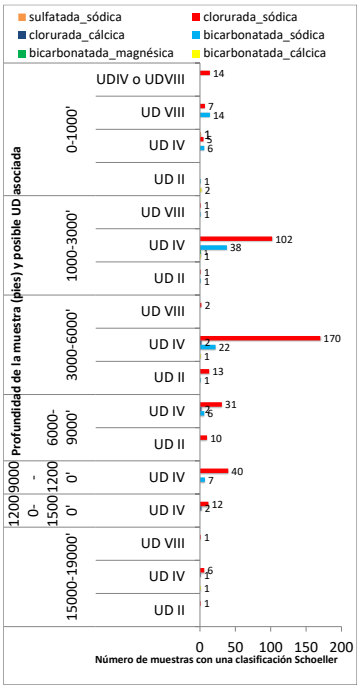
- Las muestras con una composición de SDT superior a los 10.000 ppm categorizadas como salinas (rectángulo de borde rojo en la Figura 45) o salmueras (rectángulo de borde Vinotinto en la Figura 45) representan un cambio composicional puntual que podría ser el resultado de los procesos hidrogeoquímicos que ocurren a su alrededor. En el intervalo de profundidad de 0

a 6.000 pies (~ 0 a 2.000 metros) (bandas superiores de color azul y verde claro, en la Figura 45), existen muestras puntuales cercanas al sistema de falla de Oca-Acón que pudieran ser indicativa de un proceso de evaporación extremo en el área, coherente con la humedad y la temperatura en la Cuenca de Falcón (INAMEH, 2024); asimismo en el área noroeste del Lago de Maracaibo se observan composiciones salinas que pudieran relacionarse con el aporte de solutos desde los aerosoles marinos y/o Lago de Maracaibo. A partir de 6.000 pies (~2.000 metros) (bandas superiores de color verde oscuro, fucsia, naranja y rojo, en la Figura 45) las muestras salinas y salobres se ubican también en la Sierra de Perijá y en el centro del Lago de Maracaibo, adicional a la Cuenca de Falcón (hasta 9.000 pies o ~3.000 metros).

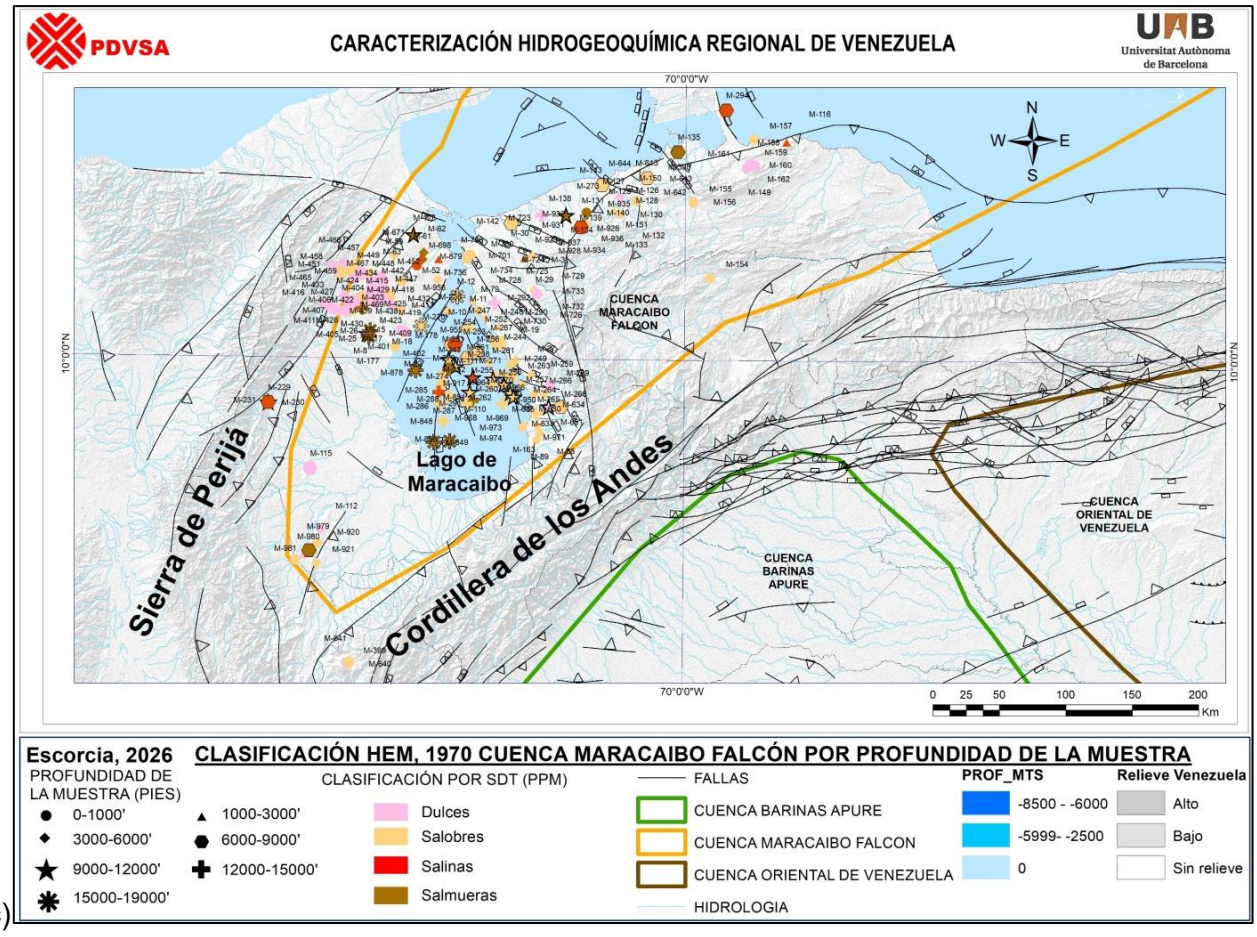
- Una última observación se refiere a la posición relativa de muestras con una concentración de sólidos disueltos totales muy diferente (Figura 45c). Caso 1, muestras M-920, M-980, M-979, M-921, M-112 y M-981 en las cuales las mayores concentraciones >7.000 ppm fueron tomadas en reservorios equivalentes a la UDII en profundidades desde 3.000 a 9.000 pies (~1.000 a 3.000 metros), concentraciones de 2400 a 3500 ppm en el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) y concentraciones menores a 600 ppm para el intervalo de profundidad de 1.000 a 6.000 pies (~300 a 2.000 metros). Esta diferencia podría estar relacionada con un nivel con una litología impermeable que no permite el paso de aguas meteóricas o con una profundidad y presencia de elementos estructurales que funcionan como vías de migración. Caso 2, las muestras M-29 y M-30 son aguas salobres tomadas en un intervalo de profundidad de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) con SDT de 2.000 a 3500 ppm en relación con la muestra M-31 caracterizada como agua de salmuera tomada en superficie.


CLASIFICACIÓN POR SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (HEM, 1970)
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (mg/L, SDT)
100000
90000
80000
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000
12000-
INTERVALO
0-1000'
9000-12000'
1000-3000'
12000-15000'
3000-6000'
15000-19000'
6000-9000'
UD
UD II
UD IV
UD V
UD VII
UD VIII
CLASIFICACIÓN
SALMUERAS
SALINAS
SALOBRES
DULCES
SALMUERAS
SALINAS
SALOBRES
DULCES
INTERVALO DE PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA

a)


sulfatada_sódica
clorurada_sódica
clorurada_cálcica
bicarbonatada_sódica
bicarbonatada_magnésica
bicarbonatada_cálcica
Profundidad de la muestra (pies) y posible UD asociada
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
UDIV o UDVIII
UD VIII
UD IV
UD II
14
7
14
1
5
6
1
2
1
1
102
38
1
1
1
2
170
2
22
1
13
1
31
6
10
40
7
12
2
1
6
1
1
1
0
50
100
150
200
Número de muestras con una clasificación Schoeller

b)



c)

Figura 45. Grupos de aguas identificados a partir de la cantidad de sólidos disueltos totales (SDT) de acuerdo con la clasificación de Hem (1970). a) Gráfico con la concentración SDT (mg/L) de las muestras por intervalo de profundidad y unidad depositacional: dulce, salobres, salinas y salmueras. Los colores internos muestran la profundidad 0-1.000 pies (azul claro), 1.000-3.000 pies (azul oscuro), 3.000-6.000 pies (verde claro), 6.000-9.000 pies (verde oscuro), 9.000-12.000 pies (fucsia, 12.000-15.000 pies (naranja y 15.000-19.000 pies (rojo). Los colores en el borde son las UD: UDII (verde oscuro), UDIV (carne), UDV (naranja), UDVII (amarillo) y UDVIII (naranja claro) b) Gráfico de barras con la proporción de muestras en cada clasificación de (Hem, 1970) por rango de profundidad UD y c) Mapa con la localización de las muestras.

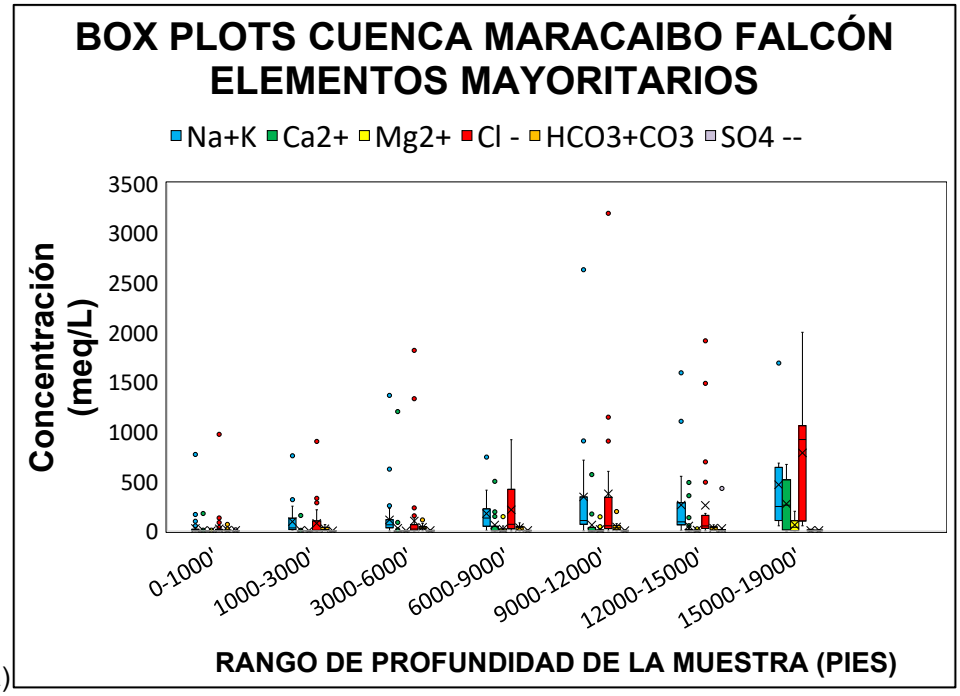
V. 2. 2 Correlación de elementos mayoritarios

El comportamiento de los elementos químicos en la naturaleza se relaciona con su asociación mineral en el estado sólido y su medio de transporte en el estado acuoso. La Tabla 11 contiene la volumetría de muestras disponibles con dato hidrogeoquímico por ion mayoritario y por profundidad a la cual fue tomada la muestra. La Figura 46 es un gráfico de cajas y bigotes con las concentraciones en miliequivalentes por litro (meq/L) de los iones mayoritarios de las muestras de agua separados por intervalo de profundidad a la cual fue tomada la muestra. Se observa unas concentraciones promedio en general inferiores a los 1.000 meq/L para todos los casos con una tendencia en el aumento de las concentraciones por profundidad a la cual fue tomada la muestra, con excepción del intervalo de profundidad 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros). Se observa un incremento considerable de la concentración de calcio en el intervalo de profundidad de

15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros), intervalo en el cual se encuentran las muestras asociadas a las UDII. Las muestras cuando están asociada a la UDIV suelen tener concentraciones menores a 200 meq/L por lo cual existe una baja interacción roca-fluido. En el intervalo de profundidad 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros) las concentraciones de cloruro y de sodio son superiores al resto en caso de las muestras provenientes de la UDVII.

Tabla 11. Resumen de las muestras con datos hidrogeoquímicos disponible por ion mayoritario y por rango de profundidad en el cual fue tomada la muestra en la Cuenca Maracaibo Falcón.

Rango de profundidad (pies)	Número de muestras con dato reportado del Ion mayoritario						
	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	$HCO_3^-+CO_3^{2-}$
0-1.000	96	74	94	97	90	97	91
1.000-3.000	32		25	32	22	32	32
3.000-6.000	53	6	39	53	37	54	54
6.000-9.000	18	1	18	18	17	18	17
9.000-12.000	17		17	17	15	17	17
12.000-15.000	22	1	22	21	22	22	22
15.000-19.000	9		9	9	9	9	8
Total	**247**	**82**	**224**	**247**	**212**	**249**	**241**



a)

b)

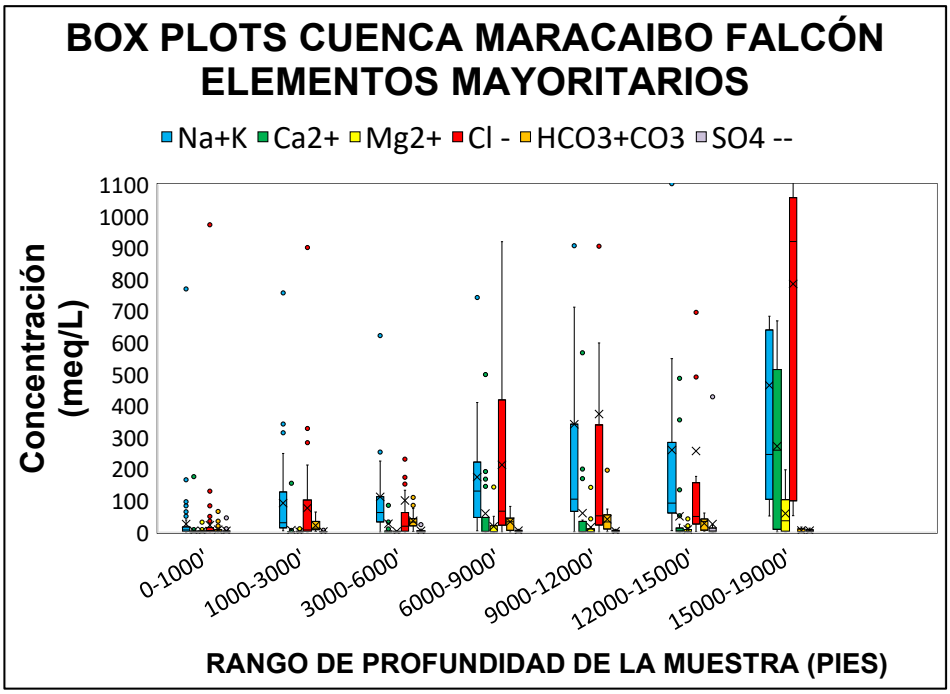


Figura 46. Gráfico *Box Plots* o de cajas y bigotes para la Cuenca Maracaibo Falcón de la concentración en meq/L de los iones principales en base al rango de profundidad de las muestras. a) Concentraciones de elementos mayoritarios hasta 3.500 meq/L. b) Detalle de la figura anterior con concentraciones hasta 1100 meq/L. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja).

En adelante se describen los gráficos de dispersión en base a la relación de las especies aniónicas mayoritarias: cloruro, bicarbonato y sulfato, respecto a las catiónicas: calcio, magnesio y potasio con la finalidad de establecer cuáles son las correlaciones químicas principales.

Cloruro

Las relaciones que se consideraron son: cloruro y sodio, cloruro y magnesio, cloruro y calcio, cloruro y sulfato, cloruro y bromuro y cloruro y bicarbonato.

Cloruro y sodio

Para la relación sodio/cloruro se utilizaron 249 muestras de agua y se agrupan en 4 tipos de interacción: enriquecida en cloro respecto al sodio, enriquecida en sodio respecto al cloruro, con la misma relación que el agua de mar y/o en contacto con halita (Kharaka y Harnor, 2003; Tabla 12; Figura 47). La litología en el área no aporta cloro al sistema hídrico (Tabla 10).

Se observa que el intervalo de profundidad 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) es el rango de profundidad que posee el mayor porcentaje de muestras enriquecidas en cloruro, lo cual podría deberse al aporte de aerosol marino (Calvo Gordaliza *et al*., 2009), dada la proximidad al Mar Caribe y al Lago de Maracaibo; sin embargo, aún en este intervalo prevalece el porcentaje de muestras enriquecidas en sodio que pudieran generarse por el intercambio iónico roca-agua. Las muestras

tomadas en el intervalo de profundidad 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros) se encuentran mayoritariamente en la Cuenca de Falcón y no existen muestras enriquecidas en cloruros. Las muestras en el intervalo de profundidad 15.000-19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros) tomadas en la UDII tienen un particular enriquecimiento de cloruros, mayormente asociadas a las formaciones Lisure y Apón. En el intervalo de profundidad de 3.000 a 12.000 pies (~1.000 a 4.000 metros) el mayor porcentaje de las muestras está enriquecido en sodio indicando un segundo aporte del ion al medio, posiblemente de la interacción roca-fluido o mezcla de aguas.

Tabla 12. Resumen de la relación molar Na^+/Cl^- en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	Enriquecida en Cl^-	$0,8>Na^+/Cl^->1$	Enriquecida en Na^+
0-1.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	33 muestras mayoritario UDVII y UDVIII	12 muestras mayoritario UDVII y UDVIII (2 en relación de precipitación de halita, 2 de agua de mar y 8 en el intermedio)	52 muestras con la mayoría de las muestras por UD
1.000-3.000	UDIV, UDV, UDVII y UDVIII		4 muestras (2 de agua de mar y 2 en el intermedio)	28 muestras
3.000-6.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	2 muestras en la UDIV	2 muestras en la UDVIII en el intermedio	48 muestras con la mayoría de las muestras por UD
6.000-9.000		4 muestras (3 de la UDII y 1 UDVIII)		14 muestras
9.000-12.000	UDII, UDIV y UDVII	3 muestras (2 de ellas en la Cuenca de Falcón)	1 muestra de la UDVII en el intermedio	13 muestras
12.000-15.000		3 muestras en la UDII	3 muestras en la UDII y UDIV en el intermedio	16 muestras
15.000-19.000	UDII	4 muestras (UDII)	4 muestras UDII y UDIV (1 en relación de precipitación de halita, 2 de agua de mar y 1 en el intermedio)	1 muestra

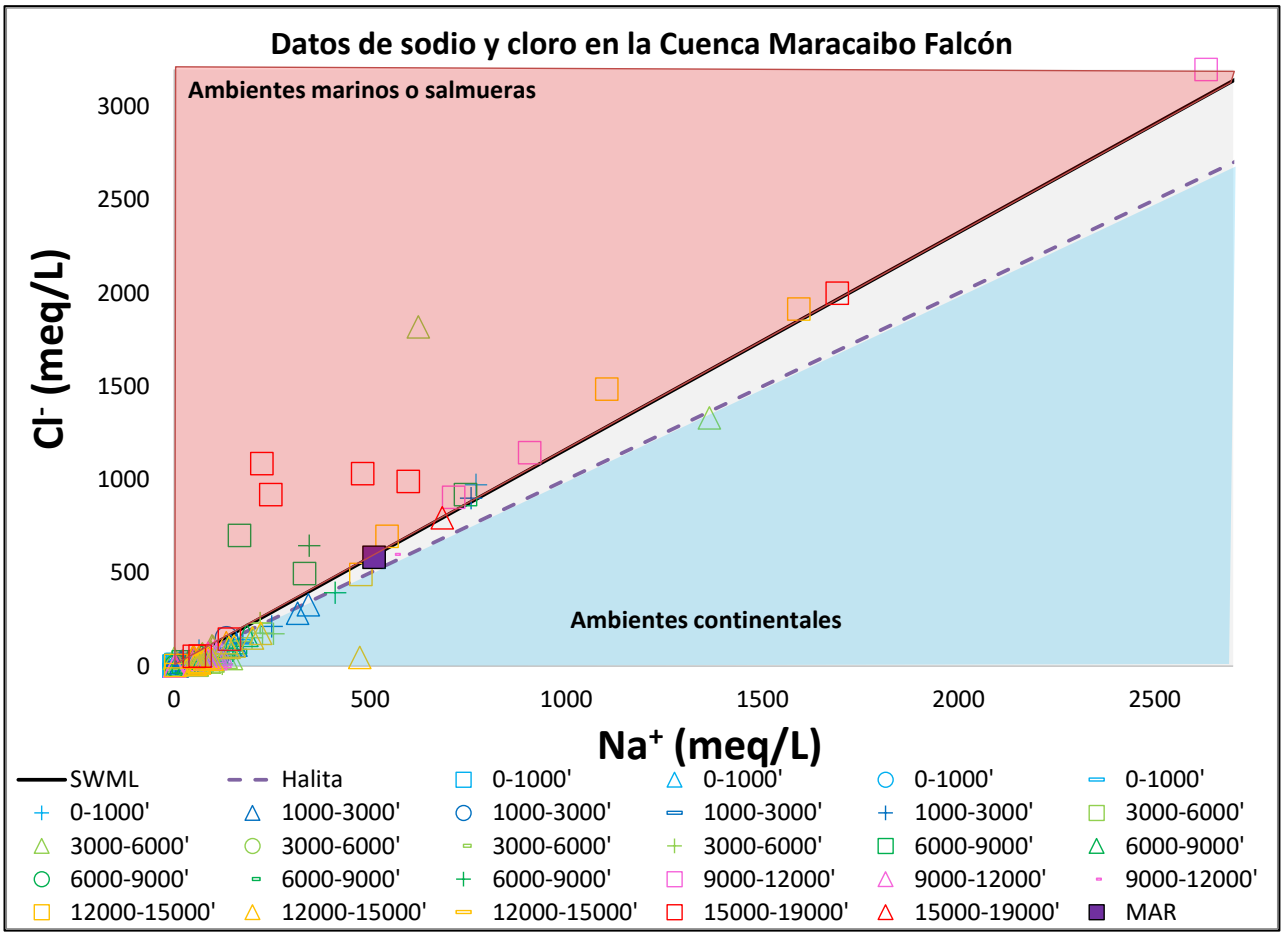


Figura 47. Gráfico de concentraciones en meq/L de sodio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón. La línea continua representa la relación Na^+/Cl^- del agua marina (0,8) y la línea de puntos representa la de aguas equilibradas con halita (Kharaka y Harnor, 2003). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Cloruro y calcio

Los 224 datos utilizados en este análisis fueron subdivididos de acuerdo con los rangos de concentración de calcio y cloro en Kharaka y Harnor (2003). Se describe con relación a la profundidad de la muestra; en la Tabla 13 y en la Figura 48. Las muestras a menor profundidad son las muestras con menores concentraciones de ambos iones. Las relaciones interelementales en comparación a las de la Cuenca Barinas Apure varían en un rango mucho más amplio, evidenciando la baja correlación que existe en algunos casos para estos iones.

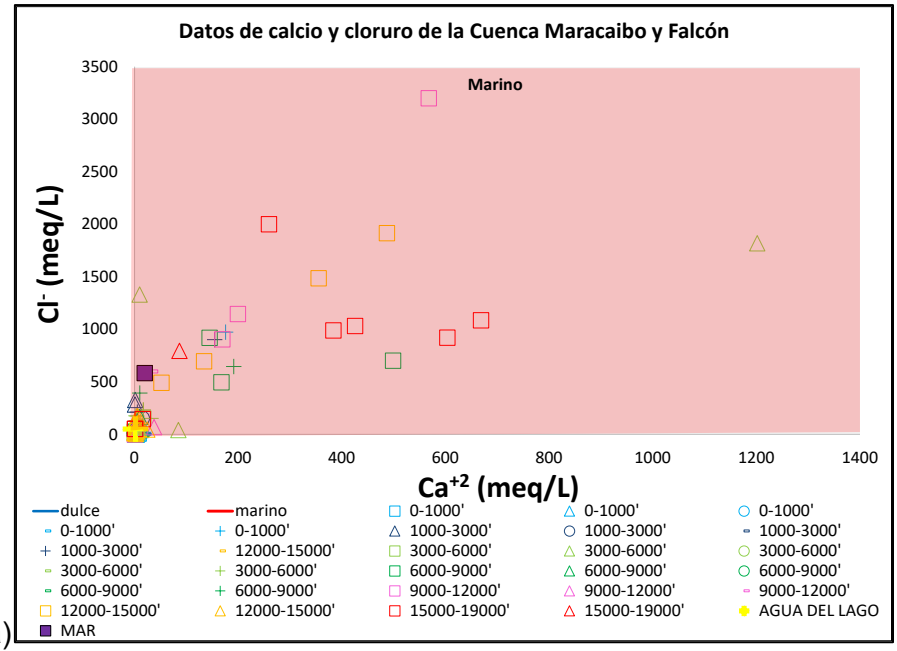
En general con el aumento de la profundidad, la cantidad de muestras que tienen características de agua de mar son mayores. Sólo para el intervalo de profundidad 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros), la concentración de calcio se eleva de forma considerable para las muestras con características de agua marina. En el intervalo de profundidad de 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros) las concentraciones de ambos iones se encuentran de 0,5 a 1,5 meq/L por lo cual no se consideran relevantes para el tipo de agua. Las concentraciones del intervalo de profundidad 3.000

a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) son superiores a las reportadas para el intervalo de profundidad 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros). En el intervalo de profundidad de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros) las muestras con características de agua dulce se ubican en el área de Falcón mientras que las muestras de agua marina se encuentran en la Cuenca de Maracaibo, es probable que las últimas tengan una relación con el agua de depositación, sin la conexión con aguas meteóricas, mientras que la Cuenca de Falcón podría guardar una relación con las fallas de "piel gruesa" generadas en el Eoceno asociadas a la deformación por la Placa del Caribe que pudiera permitir la percolación de aguas hasta esas profundidades. En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) la mayoría de los datos tienen concentraciones que se encuentran fuera de los rangos característicos de aguas de mar y agua dulce. Finalmente, el intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros) está enriquecido relativamente en cloruros.

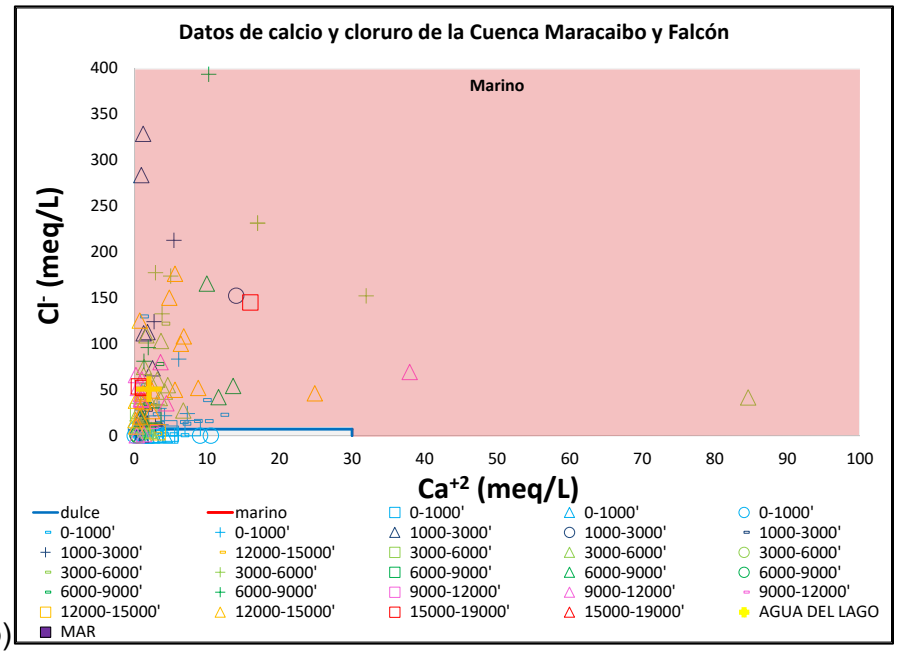
Tabla 13. Resumen de la relación molar Ca^{2+}/Cl^{-} en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	Ambientes marinos	Fuera de los intervalos de concentración característicos de un tipo de agua	Ambientes dulces
0-1.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	1 muestra de UDVIII con relación Ca^{2+}/Cl^{-}: 0,18 en la Cuenca de Falcón	61 muestras con relación Ca^{2+}/Cl^{-}:0,005-93 sin UDIV. Especial atención a las muestras enriquecidas en Cl^{-}: M-52 y M-63 o enriquecidas en Ca^{2+}: M-465, M-458, M-640, M-641 y M-460	32 muestras con relación Ca^{2+}/Cl^{-}:0,11-12,7
1.000-3.000	UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	1 muestra de UDVIII con relación Ca^{2+}/Cl^{-}: 0,17 en la Cuenca de Falcón	17 muestras con relación Ca^{2+}/Cl^{-}:0,003-1,44. Especial atención a las muestras enriquecidas en Cl^{-}: M-62 y M-796	7 muestras con relación Ca^{2+}/Cl^{-}:0,2-1,16 sin UDV
3.000-6.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	3 muestras de UDIV y UDVIII con relación Ca^{2+}/Cl^{-}: 0,2-2 en la Cuenca de Maracaibo	31 muestras con relación Ca^{2+}/Cl^{-}:0,005-2,65. Especial atención a las muestras enriquecidas en Cl^{-}: M-61 y M-926	3 muestras con relación Ca^{2+}/Cl^{-}:0,2-0,3 de la UDIV
6.000-9.000		4 muestras de UDII y UDVIII con relación Ca^{2+}/Cl^{-}: 0,1-0,7	14 muestras con relación Ca^{2+}/Cl^{-}:0,01-0,7.	
9.000-12.000	UDII, UDIV y UDVII	4 muestras de UDII y UDIV con relación Ca^{2+}/Cl^{-}: 0,17-0,6	12 muestras con relación Ca^{2+}/Cl-:0,003-0,96. Especial atención a la muestra enriquecida en Cl^{-}: M-634	1 muestra con relación Ca^{2+}/Cl^{-}:0,8 en la UDIV
12.000-15.000		4 muestras de UDII con relación Ca^{2+}/Cl^{-}: 0,1-0,2 en la Cuenca de Maracaibo	16 muestras con relación Ca/Cl^{-}:0,005-0,54. Especial atención a las muestras enriquecidas en Cl^{-}: M-966, M-287 y M-851	2 muestras de la UDII y UDVII con relación Ca^{2+}/Cl^{-}:0,8-1,2 en la Cuenca de Falcón
15.000-19.000	UDII y UDIV	6 muestras de con relación Ca^{2+}/Cl^{-}: 0,1-0,7 en la Cuenca de Maracaibo	3 muestras con relación Ca^{2+}/Cl^{-}:0,01-44 en la UDII.	32 muestras con relación Ca^{2+}/Cl^{-}:0,11-12,7

De acuerdo con la unidad depositacional en la cual fue tomada la muestra, parece haber una intrusión de agua dulce en las profundidades más someras y una mezcla con los aerosoles marinos en la UDVIII, dada la proximidad al Lago de Maracaibo (Calvo Gordaliza *et al*., 2009). Las muestras en la UDVII sólo tienen datos característicos de agua dulce ubicadas hasta 3.000 pies (~1.000 metros) en el área de Maracaibo y hasta 15.000 pies (~5.000 metros) en el área de Falcón. Finalmente, las muestras tomadas en la UDII en la mayoría de los casos son de características marinas con excepción de las ubicadas en el área de Falcón en el intervalo de profundidad 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros).



a)



b)

Figura 48. Gráficos de concentraciones de calcio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón, en base a los límites descritos en Kharaka & Harnor (2003). a) escala

hasta 3.500 meq/L Cl^- y 1.400 meq/L de Ca^{2+}y, b) escala hasta 400 meq/L Cl^- y 100 meq/L de Ca^{2+}. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Cloruro y magnesio

Los iones calcio y magnesio son cationes con un mayor tiempo de residencia que guardan una relación entre ellos de acuerdo con el ambiente del cual provienen (De Sousa, 2006). Los 247 datos utilizados en este análisis fueron subdivididos de acuerdo con los rangos de concentración de magnesio y cloro. Se describe con relación a la profundidad de la muestra en la Tabla 14 y en la Figura 49. Al igual que con la relación Ca^{2+}/Cl-, y considerando que estos iones suelen mantener los patrones de movilidad, existe una baja correlación entre ellos con valores extremos en la relación. Las muestras a menor profundidad son las de menores concentraciones de ambos iones.

Las muestras tomadas en el intervalo de profundidad de 0 a 6.000 pies son predominantemente características de los intervalos de agua dulce. Las muestras tomadas en el intervalo de profundidad de 6.000 a 15.000 pies son mayoritariamente características de aguas presentes en ambientes marinos. En el intervalo de profundidad de 0 a 3.000 pies las muestras presentan concentraciones menores a 40 para magnesio y 500 meq/L para cloro, con un enriquecimiento relativo de magnesio para las muestras tomadas en la UDV. En el intervalo de profundidad de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) las muestras M-61 y M-289 tomadas en la UDIV tienen una concentración de cloro superior al promedio del rango de profundidad. En el rango de profundidad de 6.000 a 12.000 pies (~2.000 a 4.000 metros) se observa un enriquecimiento relativo de las muestras tomadas en la UDII (para 9.000-12.000 pies sólo en Falcón) y en particular en magnesio para las muestras M-135 tomada en la UDVIII (6.000 a 9.000 pies o ~2.000 a 3.000 metros) de la Cuenca de Maracaibo y M-111 tomada en la UDIV (9.000-12.000 pies o ~3.000 a 4.000 metros) de la Cuenca de Maracaibo. Nuevamente, para el intervalo de profundidad 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros) las muestras tomadas en la UDII tienen una tendencia que correlaciona ambos iones con un empobrecimiento de magnesio. Finalmente, en el intervalo de profundidad de 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros), el contenido de magnesio es mayor pero la relación de los iones en las muestras tomadas en la UDII se mantiene.

La relación Mg^{2+}/Cl^- muestra una incursión en las profundidades más someras del agua dulce y una influencia de los aerosoles marinos para las muestras en la UDVII y UDVIII dada la proximidad al Lago de Maracaibo (Calvo Gordaliza *et al*., 2009). Las muestras en la UDVII presentan características marinas a nivel de 9.000-12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros). Finalmente, las muestras tomadas en la UDII en la mayoría de los casos son de características marinas con excepción de las ubicadas en el área de Falcón en el intervalo de profundidad 12.000-15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros). Nuevamente, las aguas con características dulces suelen encontrarse en

profundidades desde 0 a 6.000 pies (~0 a 2.000 metros) y las aguas con características marinas suelen encontrarse en profundidades desde 6.000 a 15.000 pies (~2.000 a 5.000 metros).

Tabla 14. Resumen de la relación molar Mg^{2+}/Cl^{-} en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	Ambientes marinos	Fuera de los intervalos de concentración característicos de un tipo de agua	Ambientes dulces
0-1.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	5 muestras de UDVII y UDVIII con relación Mg^{2+}/Cl^{-}: 0,04-0,6	49 muestras con relación Mg^{2+}/Cl-:0,007-286 sin UDIV. Especial atención a la muestra enriquecida en Cl^{-}: M-63 o enriquecidas en Mg^{2+}: M-465, M-458, M-640, M-641 y M-460	43 muestras con relación Mg^{2+}/Cl^{-}:0,02-1,75
1.000-3.000	UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	1 muestra de UDV con relación Mg^{2+}/Cl^{-}: 0,07 en la Cuenca de Maracaibo	15 muestras con relación Mg^{2+}/Cl-:0,0004-0,31. Especial atención a las muestras enriquecidas en Cl^{-}: M-62, M-796, M-126, M-116 y M-31	16 muestras con relación Mg^{2+}/Cl^{-}:0,02-1,7
3.000-6.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	4 muestras de UDIV y UDVIII con relación Mg^{2+}/Cl^{-}: 0,006-0,4	28 muestras con relación Mg^{2+}/Cl^{-}:0,002-0,73. Especial atención a las muestras enriquecidas en Cl^{-}: M-163, M-971, M-962, M-644 y M-927	19 muestras con relación Mg^{2+}/Cl^{-}:0,03-2,14 de la UDIV y UDVII
6.000-9.000		7 muestras de UDII, UDIV y UDVIII con relación Mg^{2+}/Cl^{-}: 0,03-0,3	10 muestras con relación Mg^{2+}/Cl^{-}:0,008-0,22. Especial atención a las muestras enriquecidas en Cl^{-}: M-939, M-938, M-937, M-143 y M-645	1 muestra con relación Mg^{2+}/Cl^{-}:0,3 en la UDV
9.000-12.000	UDII, UDIV y UDVII	3 muestras de UDII y UDVII con relación Mg^{2+}/Cl^{-}: 0,02-0,04 en la Cuenca de Falcón	12 muestras con relación Mg^{2+}/Cl^{-}:0,002-2. Especial atención a las muestras enriquecidas en Cl-: M-123, M-633, M-634 y M-963	2 muestras con relación Mg^{2+}/Cl^{-}:0,15-0,37 en la UDIV
12.000-15.000		5 muestras de UDII y UDIV con relación Mg^{2+}/Cl^{-}: 0,02-0,04 en la Cuenca de Maracaibo	14 muestras con relación Mg^{2+}/Cl^{-}:0,008-0,1. Especial atención a las muestras enriquecidas en Cl^{-}: M-966, M-969 y M-851	2 muestras de la UDII y UDVII con relación Mg^{2+}/Cl^{-}:0,6-1,3 en la Cuenca de Falcón
15.000-19.000	UDII y UDIV	4 muestras de con relación Mg^{2+}/Cl^{-}: 0,02-0,08 en la Cuenca de Maracaibo	5 muestras con relación Mg^{2+}/Cl^{-}:0,01-0,2 en la UDII	

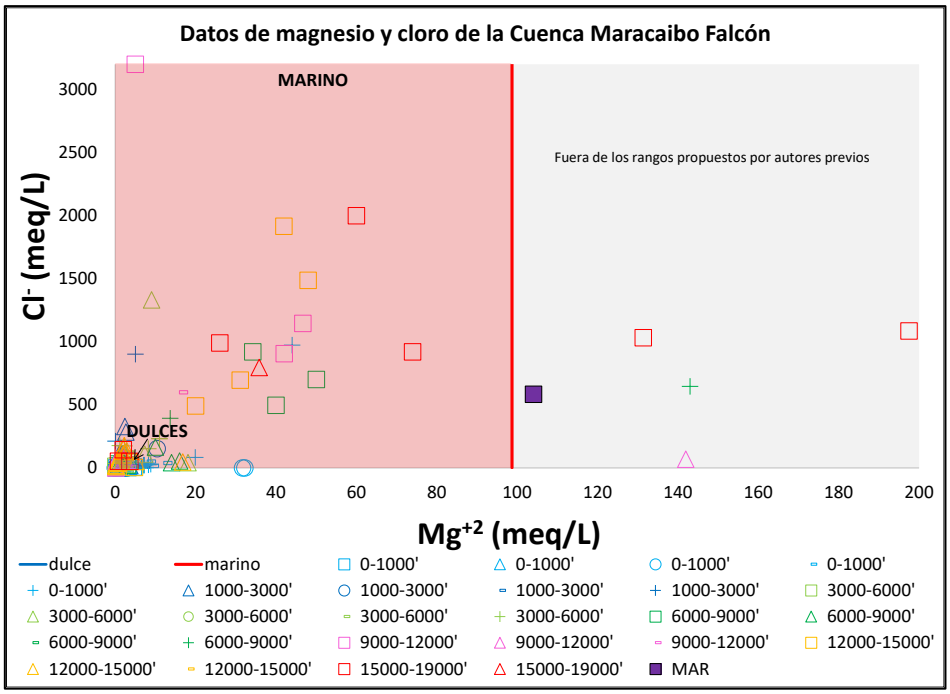


Figura 49. Gráficos de concentraciones de magnesio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón, de acuerdo con los límites propuestos en De Sousa (2006). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Cloruro y sulfato

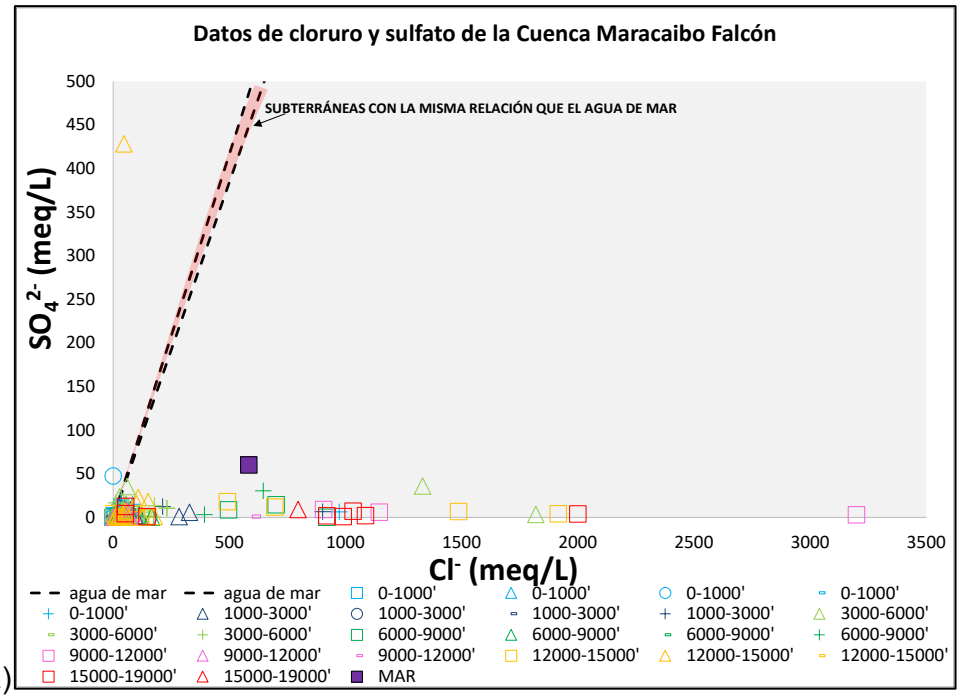
Las relaciones entre iones cloruro y sulfato de las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón en función de su profundidad se resumen y muestran en la Tabla 15 y la Figura 50. A partir de la relación interaniónica de cloro y sulfato las 212 muestras con dato disponible se separaron en tres grupos: aguas con una posible interacción con litologías salina como halita (relación menor a 1,2), aguas con la misma relación que la presente en el agua de mar (relación 1,2 a 1,3) o aguas resultantes de una posible interacción con litologías sulfatadas (relación superior a 1,3; Kharaka y Harnor, 2003). Las diferencias son mayores en la concentración de cloruro y no de sulfatos, con excepción de la muestra M-291 tomada en la UDIV en un intervalo de profundidad de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros) producto posiblemente de una interacción roca fluido. A todas las profundidades muestreadas predominan los datos con concentraciones altas de cloruros y bajas en sulfato, que podría relacionarse con un agua resultante de la mezcla con aerosoles marinos (Calvo Gordaliza, Castro Izquierdo, & Fraile, 2009), con evaporación o con el agua del Lago de Maracaibo.

En el intervalo de profundidad 0-1.000 pies (~0 a 300 metros); las muestras presentan concentraciones menores a 100 meq/L para ambos aniones, indicando una baja relevancia en el proceso hidrogeoquímico que controla los elementos mayoritarios en la muestra. Sin embargo, existen muestras ligeramente enriquecidas en sulfato M-640 y M-641 (~50 meq/L) asociadas a un muestreo en superficie de una mina de carbón (Montero y Martínez, 2014). En el intervalo de

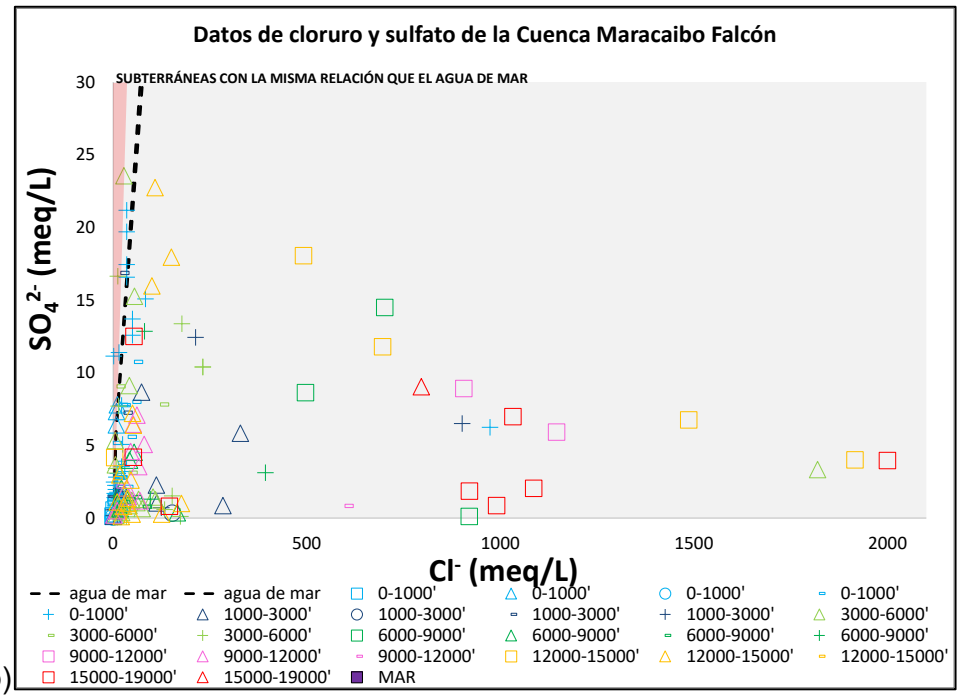
profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros). Para el intervalo de profundidad de 1.000 a 6.000 pies existe un enriquecimiento en la concentración relativa de cloro aún inferiores a 500 meq/L. En el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros) el rango de concentración es superior para las muestras tomadas en la UDVIII y UDII (Cuenca de Maracaibo) hasta 1.000meq/L. En el rango de profundidad de 9.000 a 15.000 pies (~3.000 a 5.000 metros) las muestras tomadas en la UDIV tienen bajas concentraciones, pero las muestras en la UDII tienen de nuevo una concentración alta de cloro, así como en el intervalo de profundidad de 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros) de la muestra tomada en la UDIV.

Tabla 15. Resumen de la relación molar SO_4^{2-}/Cl^- en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad en base a los límites en Kharaka y Harnor (2003).

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	$SO_4^{2-}/Cl^-<1,2$	$1,2<SO_4^{2-}/Cl^-<1,3$	$SO_4^{2-}/Cl^->1,3$
0-1.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	82 muestras. Especial atención a la muestra enriquecida en Cl^-: M-140 (~1.000 meq/L) en la UDVIII	1 muestra en la UDVII	7 muestras sin UDIV. Especial atención a la muestra enriquecida en SO_4^{2-}:M-640 y M-641
1.000-3.000	UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	22 muestras. Especial atención a las muestras enriquecidas en Cl^-: M-31(~1.000 meq/L Cl^-) en la Cuenca de Falcón		
3.000-6.000	UDIV, UDVII y UDVIII	34 muestras. Especial atención a las muestras enriquecidas en Cl^-:M-59 y M-61 (1500-2.000 meq/L) en la Cuenca de Maracaibo		1 muestra en UDVIII.
6.000-9.000	UDII, UDIV, UDVII y UDVIII	17 muestras. Especial atención a las muestras enriquecidas en Cl^-:M-981, M-231, M-229, M-135 y M-294 (400-1.000meq/L)		
9.000-12.000	UDII, UDIV y UDVII	15 muestras. Especial atención a las muestras enriquecidas en Cl^-:M-138, M-139, M-123 y M-230(600 a 1.000y 3200meq/L)		
12.000-15.000		20 muestras. Especial atención a las muestras enriquecidas en Cl^-:M-919, M-917, M-918, M-285y M-952 (490-1500 meq/L)	1 muestra en la UDVII en la Cuenca de Falcón	1 muestra en la UDIV en la Cuenca de Maracaibo M-291 (~400 meq/L)
15.000-19.000	UDII y UDIV	20 muestras. Especial atención a las muestras enriquecidas en Cl^-:M-850, M-878, M-26, M-11, M-849 y M-25 (800-2.000meq/L)		



a)



b)

Figura 50. Gráficos de concentraciones de sulfato con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón, a) escala hasta 3500 meq/L Cl^- y 500 meq/L de SO_4^{2-}y, b) escala hasta 2100 meq/L Cl^- y 30 meq/L de SO_4^{2-}de acuerdo con los límites descritos en Kharaka y Harnor (2003). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Cloruro y bicarbonato

La concentración de bicarbonatos generalmente guarda relación con la presencia de rocas carbonatas o de la disolución de dióxido de carbono en el medio acuoso (Custodio y LLamas, 1976). En general en la relación interaniónica de cloro con bicarbonato predominan las muestras con una

mayor proporción de bicarbonatos que de cloruros, siendo atribuibles a aguas continentales. Se observaron cinco grupos en las 239 muestras: aguas con alta concentración de bicarbonato en relación con cloruro ($Cl^-/HCO_3^-<0,1$), aguas continentales ($0,1<Cl^-/HCO_3^-<5$), posibles aguas de mezclas ($5<Cl^-/HCO_3^-<20$), aguas con la misma relación que el agua de mar ($20<Cl^-/HCO_3^-<50$) y aguas con alta concentración de cloruro en relación con bicarbonato ($Cl^-/HCO_3^->50$). Se describe con relación a la profundidad de la muestra en la Figura 51 y la Tabla 16.

Tabla 16. Resumen de la relación molar Cl^-/HCO_3^- en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	$Cl^-/HCO_3^-<0,1$	$0,1<Cl^-/HCO_3^-<5$	$5<Cl^-/HCO_3^-<20$	$20<Cl^-/HCO_3^-<50$	$Cl^-/HCO_3^->50$
0-1.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	7 muestras en la UDII, UDVII y UDVIII	62 muestras	18 muestras en la UDVII y UDVIII	2 muestras en UDVII y UDVIII	2 muestras en UDVIII enriquecidas en Cl
1.000-3.000	UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	8 muestras en la UDIV, UDV y UDVII	17 muestras en la UDIV, UDVII y UDVIII	4 muestras en la UDIV y UDVIII	2 muestras en UDIV y UDV	
3.000-6.000	UDII, UDIV, UDVII y UDVIII	8 muestras en la UDV y UDVII	29 muestras	1 muestra de la UDVII	3 muestras en UDIV y UDVIII.	2 muestras en la UDIV
6.000-9.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII		13 muestras	2 muestras en UDII y UDVIII		2 muestras en la UDII y UDVIII
9.000-12.000	UDII, UDIV y UDVII		13 muestras en la UDIV y UDVII			2 muestras en la UDII y UDVII
12.000-15.000			15 muestras en la UDII, UDIV y UDVII	3 muestras en la UDVII en la Cuenca de Falcón	1 muestra en la UDIV en la Cuenca de Maracaibo	3 muestras en la UDII Cuenca Maracaibo
15.000-19.000	UDII y UDIV en la Cuenca de Maracaibo			1 muestra en la UDII	1 muestra en la UDII	6 muestras en la UDII y UDIV

En general es mayoritario el caso de muestras con mayor proporción de bicarbonatos que de cloruros. En el intervalo de profundidad de 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros) la concentración de cloruro es superior a la de los intervalos de profundidad 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) y 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros), lo cual pudiera ser indicativo de un proceso de mezcla de aguas. Por UD, algunas de las muestras en intervalos de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) para la UDVII y UDVIII presentan características de agua de mar, que pudieran estar relacionadas con la presencia de aerosol marino (Calvo Gordaliza *et al.*, 2009) o con un proceso de mezcla con el agua del Lago de Maracaibo. Para la UDII sólo a nivel de 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros) se deduce la presencia de agua de mar, que pudiera relacionarse con aguas connatas ocluidas desde el momento de la sedimentación. La UDIV presenta mayor concentración de bicarbonato, independiente del nivel estratigráfico en el que se halle la muestra.

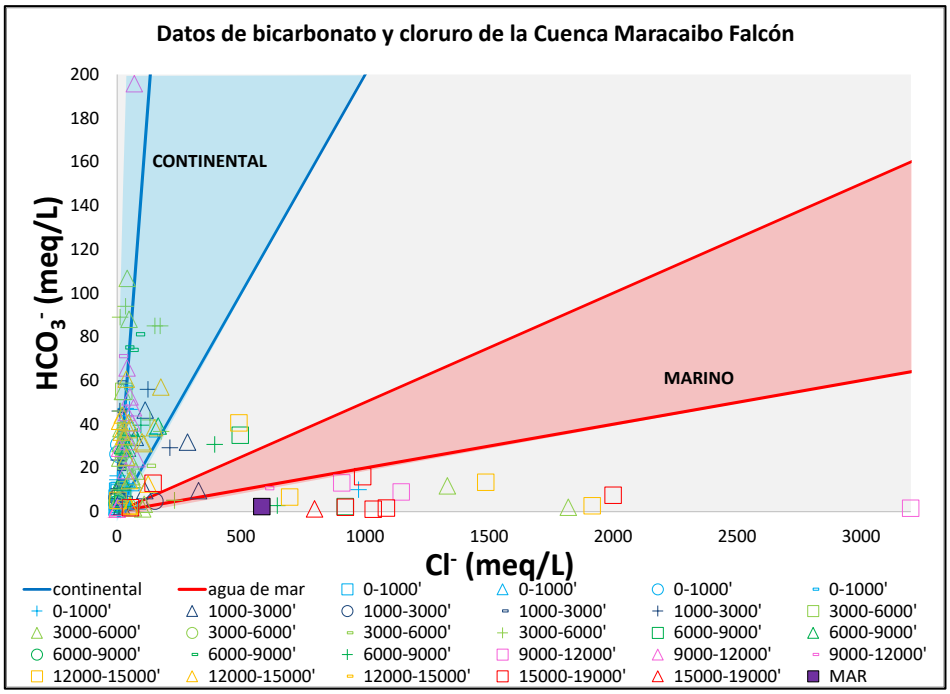


Figura 51. Gráficos de concentraciones de bicarbonato con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con las concentraciones sugeridas por Custodio y LLamas (1976). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Cloruro y bromuro

La concentración de bromuros en aguas es comúnmente estable, a pesar de las reacciones químicas que puedan ocurrir. El estudio de la relación interaniónica Br^-/Cl^- incluyó 6 muestras y fueron analizados en base a 3 criterios: muestras con una relación interaniónica de 0,0015; suele ser característica de aguas subterráneas proveniente de agua de mar; muestras con una relación interaniónica Br^-/Cl^- inferior a 0,0015 que se pueden explicar por contacto con litologías salinas de tipo halita, que aporta cloruro al medio y muestras con una relación interaniónica mayor a 0,0015 donde se considera que existieron condiciones favorables para la precipitación de halita, disminuyendo la concentración de Cl^- respecto a Br^- en la muestra (Kharaka y Harnor, 2003).

Las muestras se ubican en la Unidad Depositacional UDIV en la Cuenca de Maracaibo en un intervalo de profundidad de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros). La relación Br^-/Cl^- resulta entre 0,0018 y 0,0025, que es superior a la relación esperada en agua de mar, por lo cual los cloruros han sido retirados del medio o existe un aporte de bromuro al sistema, posiblemente relacionado con la interacción con hidrocarburos, reportados con actividad sulfato reductora en Angulo (2016). Las muestras presentan una alineación similar a la pendiente del agua de mar como se observa en la Figura 52.

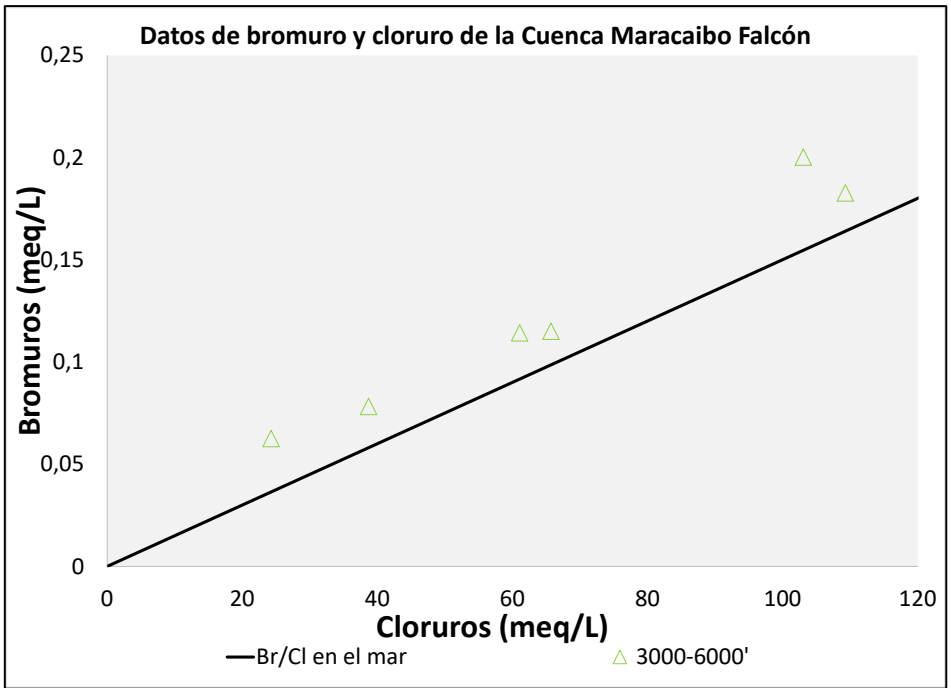


Figura 52. Gráfico de concentraciones de cloruros en relación con bromuros de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón. La línea de color negro es indicativa de la relación bromuro / cloruro esperado para muestras de agua de mar. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Bicarbonato y carbonato

Las relaciones que se consideraron son: cloruro y sodio, cloruro y magnesio, cloruro y calcio, cloruro y sulfato, cloruro y bromuro y cloruro y bicarbonato.

Bicarbonato y sodio

La presencia de iones bicarbonato y carbonato en las muestras de agua subterránea se asocia mayormente con aguas de intercambio iónico con corto tiempo de permanencia. El sodio como elemento de alta movilidad suele asociarse con el bicarbonato en las aguas de intercambio iónico (Custodio y LLamas, 1976 y Vásquez Castro, 1998). Los 237 datos utilizados en este análisis a partir de la relación Na/HCO_3^- se muestran subdivididos por profundidad en la Tabla 17 y en la Figura 53. En este caso no se tiene una clasificación de agua de mar de acuerdo con los autores consultados; sin embargo, en los casos donde el enriquecimiento de sodio es muy superior se espera una contribución del ion desde otras fuentes como NaCl, se añadió una muestra con la relación en el agua de mar, a fin de ilustrar como se observan estas contribuciones adicionales.

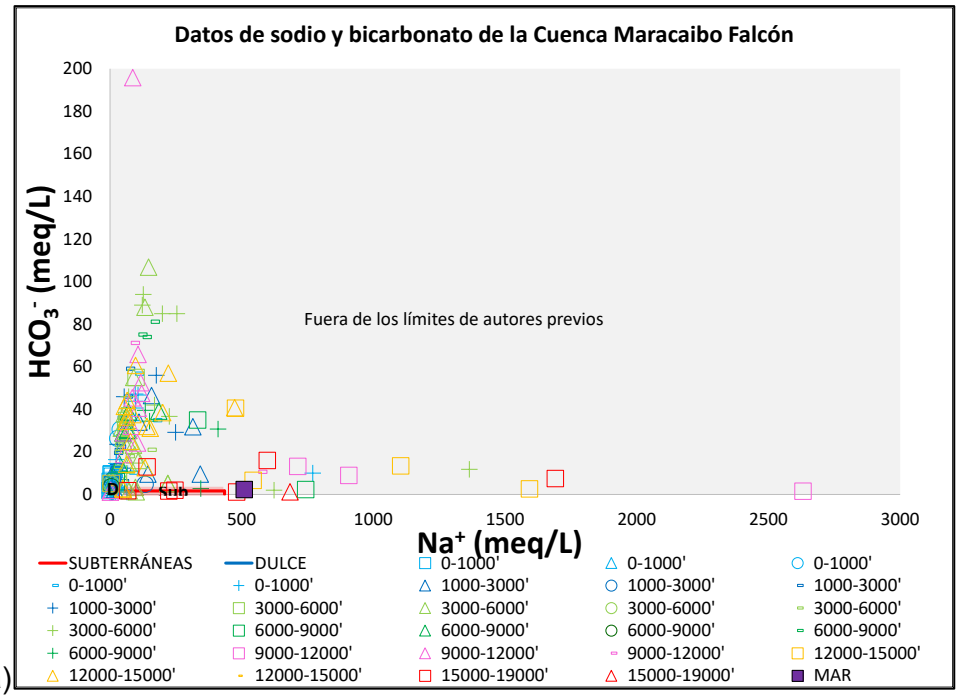
En general, es mayoritario el caso de muestras con un enriquecimiento relativo superior en bicarbonato que, en sodio, dentro del rango esperado para agua dulce. Las muestras tomadas en el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) que se encuentra fuera de los intervalos que los autores definen, presentan una alineación en el enriquecimiento de bicarbonato. Las muestras ubicadas en el nivel de 15.000 a 19.000 (~5.000 a 6.500 metros) tomadas en

formaciones equivalentes a la UDII son las que presentan un mayor tiempo de residencia, adicionalmente, su litología caja aporta iones carbonatos al medio (Tabla 10). Por UD, las muestras en la UDVII y UDVIII presentan un intercambio iónico con una concentración relativa de los iones. La UDV sólo tiene muestras de características dulces.

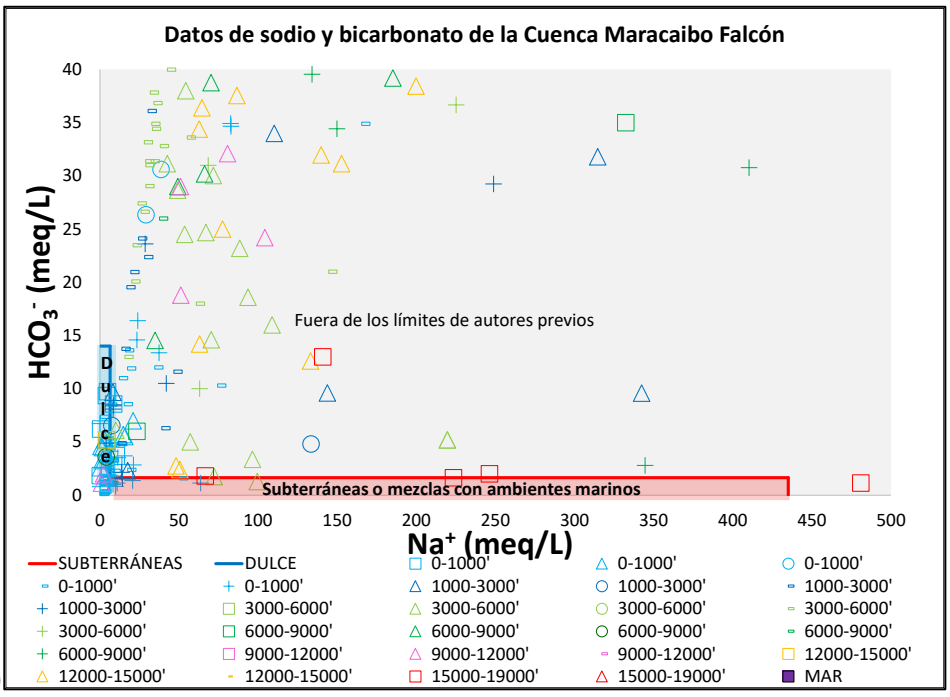
Tabla 17. Resumen de la relación molar Na/HCO_3^- en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	Aguas dulces	Aguas subterráneas o de mezcla	Aguas subterráneas	Fuera de los intervalos de concentración característicos de un tipo de agua
0-1.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	28 muestras sin UDV	11 muestras de UDVII y UDVIII	7 muestras de UDVII y UDVIII	44 muestras, especial atención a la enriquecida en Na^+: M-140, en la UDVIII
1.000-3.000	UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	1 muestra en la UDVIII Falcón		1 muestra en la UDVIII Falcón	29 muestras, especial atención a las enriquecidas en Na^+: M-62, M-796 y M-116
3.000-6.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	1 muestra UDV Maracaibo		1 muestra UDIV Maracaibo	50 muestras, especial atención a las enriquecidas en Na^+:M-61 y M-59
6.000-9.000		1 muestra M-115 UDV Maracaibo			16 muestras, especial atención a las enriquecidas en Na^+: M-981, M-231, M-294 y M-135
9.000-12.000	UDII, UDIV y UDVII	1 muestra M-635 en la UDIV Maracaibo	1 muestra M-8 en la UDIV Maracaibo		15 muestras, especial atención a las enriquecidas en Na^+:M-138, M-139, M-123 y M-230
12.000-15.000		2 muestras en UDII y UDVII			20 muestras, especial atención a las enriquecidas en Na^+:M-919, M-917, M-918, M-952 y M-291
15.000-19.000	UDII y UDIV	1 muestra M-850 UDII Maracaibo			7 muestras UDII y UDIV Maracaibo

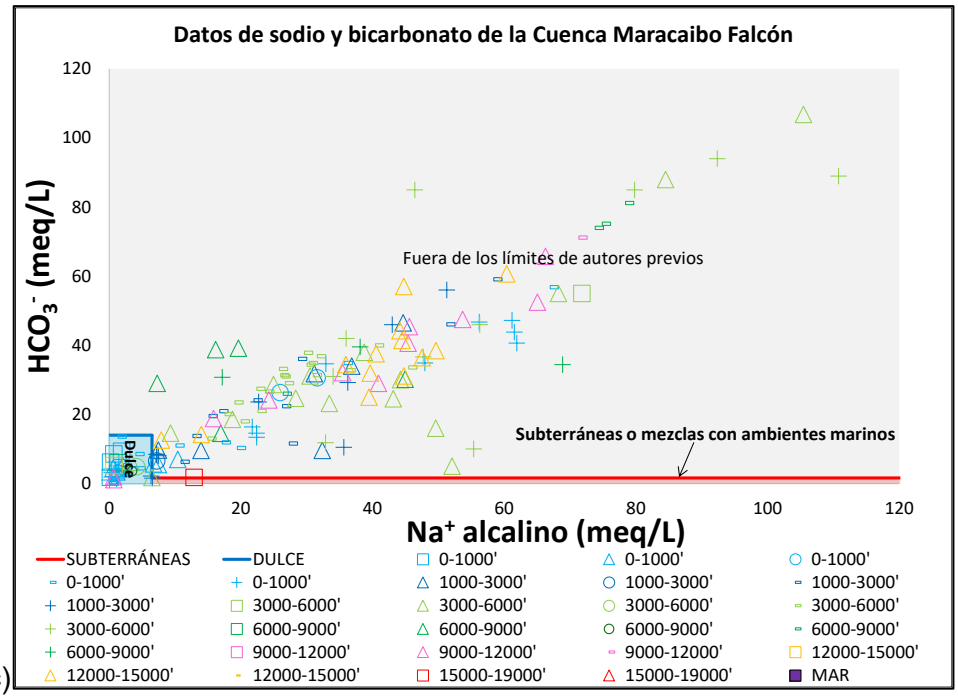
Como se muestra en la Figura 51c, al sustraer del sodio la concentración equivalente de cloruros, se observa una clara alineación entre la concentración de sodio y de bicarbonato. Esto sugiere la existencia de un aporte común para estas dos especies. Por el contrario, en la mayoría de las muestras enriquecidas en sodio, el mismo procedimiento, genera valores negativos. Dada la imposibilidad física de este resultado, se concluye que no existe una relación directa entre el sodio y el bicarbonato en dichas muestras.


Datos de sodio y bicarbonato de la Cuenca Maracaibo Falcón
HCO3- (meq/L)
Na+ (meq/L)
Fuera de los límites de autores previos
Dulce
Salin
SUBTERRÁNEAS
DULCE
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
MAR

a)


Datos de sodio y bicarbonato de la Cuenca Maracaibo Falcón
HCO3- (meq/L)
Na+ (meq/L)
Fuera de los límites de autores previos
Dulce
Subterráneas o mezclas con ambientes marinos
SUBTERRÁNEAS
DULCE
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
MAR

b)



c)

Figura 53. Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón, a partir de los valores en (Custodio y LLamas, 1976 y Vásquez Castro, 1998). a) escala hasta 3.000 meq/L Na^+ y 200 meq/L de HCO_3^-, b) escala hasta 500 meq/L Na^+ y 40meq/L de HCO_3^- y c) sodio alcalino escala hasta 120 meq/L Na^+ y 120 meq/L de HCO_3^- que se refiere a la concentración de sodio remanente sin la cantidad que se podría encontrar en solución con cloruros. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadro de color morado es la muestra de agua de mar.

Bicarbonato y calcio

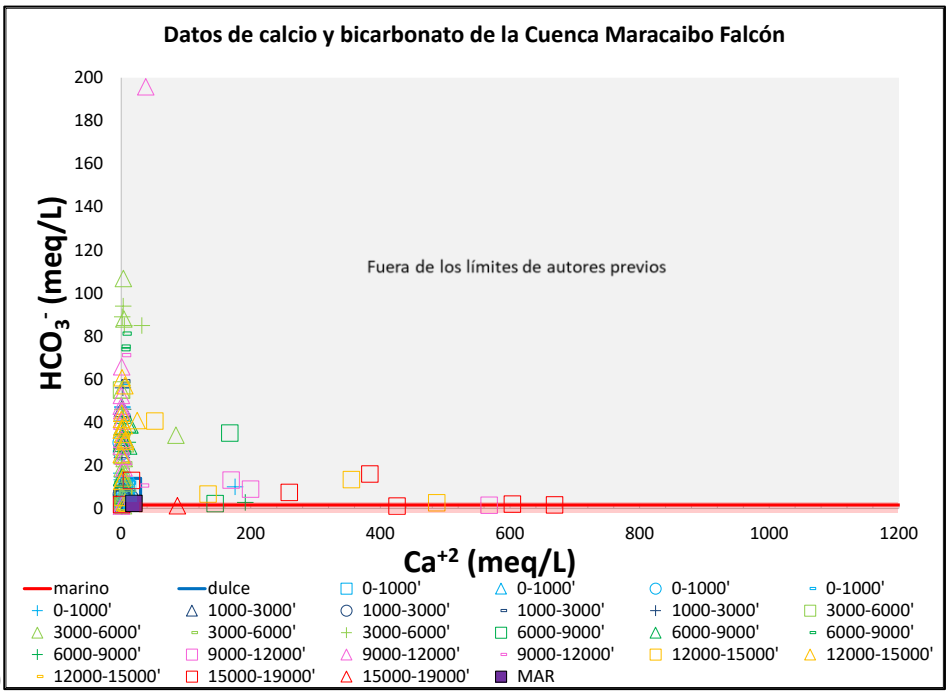
Los 214 datos utilizados en este análisis, a partir de la relación Ca^{2+}/HCO_3^- fueron subdivididos por profundidad y se resumen en la Tabla 18 y en la Figura 54.

En general es mayoritario el caso de muestras con relación Ca^{2+}/HCO_3^- tipo agua subterránea, con intercambio iónico con las rocas adyacentes y posiblemente bajo tiempo de residencia. Las muestras ubicadas en el nivel de 15.000 a 19.000 (~5.000 a 6.500 metros) tomadas en formaciones equivalentes a la UDII y UDIV son las que presentan mayores concentraciones, adicionalmente, su litología caja aporta iones carbonatos al medio (Tabla 10). Sólo a partir de 9.000 pies (~3.000 metros) se evidencias muestra con un comportamiento de agua de mar. Por UD, sólo las muestras en la UDII y la UDIV tienen características de agua de mar.

Tabla 18. Resumen de la relación molar Ca^{2+}/HCO_3^- en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	Aguas subterráneas	Aguas marinas	Fuera de los intervalos de concentración característicos de un tipo de agua
0-1.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	59 muestras sin UDV		29 muestras. Con especial atención a las muestras M-980 y M-52 enriquecidas en HCO_3^- y a la muestra M-140 enriquecida en Ca^{2+}.
1.000-3.000	UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	14 muestras		10 muestras
3.000-6.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	8 muestras en UDIV, UDV y UDVIII		28 muestras. Con especial atención a la muestra M-59 enriquecida en Ca^{2+}.
6.000-9.000		1 muestra en la UDII en la Cuenca de Falcón		16 muestras. Con especial atención a las muestras M-231, M-981 y M-135 enriquecidas en Ca^{2+}.
9.000-12.000	UDII, UDIV y UDVII	2 muestras en UDIV y UDVII	1 muestra en la UDII en la Cuenca de Maracaibo	14 muestras. Con especial atención a las muestras M-111, M-633, M-634 y M-965 enriquecidas en HCO_3^- y a la muestra M-138, M-139 enriquecida en Ca^{2+}.
12.000-15.000		5 muestras		14 muestras. Con especial atención a las muestras M-966, M-851 y M-950 enriquecidas en HCO_3^- y a las muestras M-917, M-919 y M-952 enriquecidas en Ca^{2+}.
15.000-19.000	UDII y UDIV	2 muestras en UDII	2 muestras en UDII y UDIV	3 muestras en UDII todas ellas enriquecidas en Ca^{2+}.

a)



b)

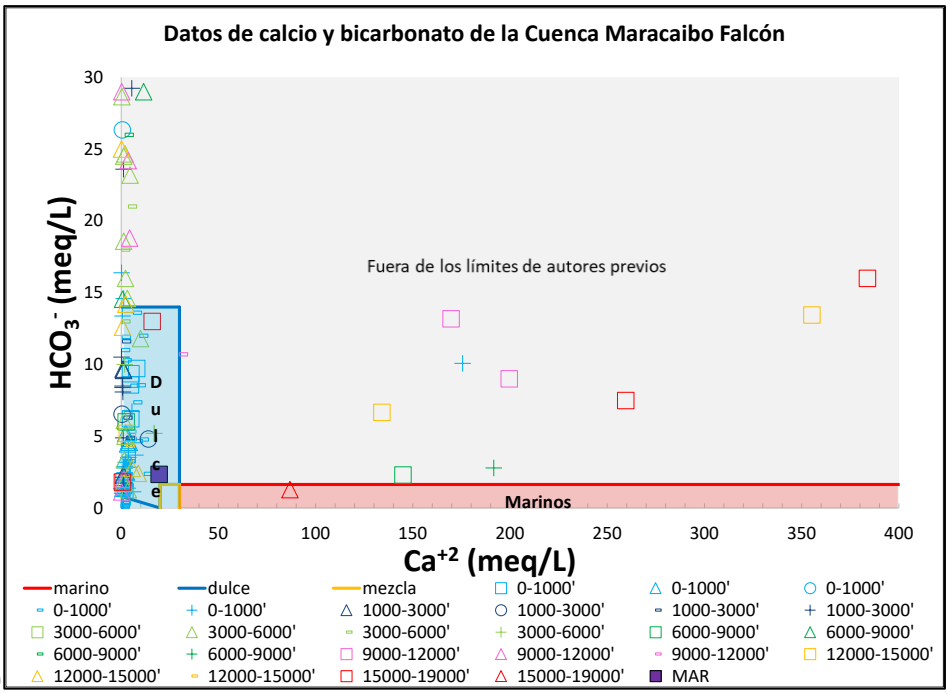


Figura 54. Gráfico de concentraciones de calcio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con los rangos de concentración descritos por (Custodio y LLamas (1976) y Kharaka y Harnor (2003). a) Escala hasta 1200 meq/L Ca^{2+} y 200 meq/L de HCO_3^- y, b) Escala hasta 400 meq/L Ca^{2+} y 30 meq/L de HCO_3^-. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadro de color morado es la muestra de agua de mar.

Bicarbonato y magnesio

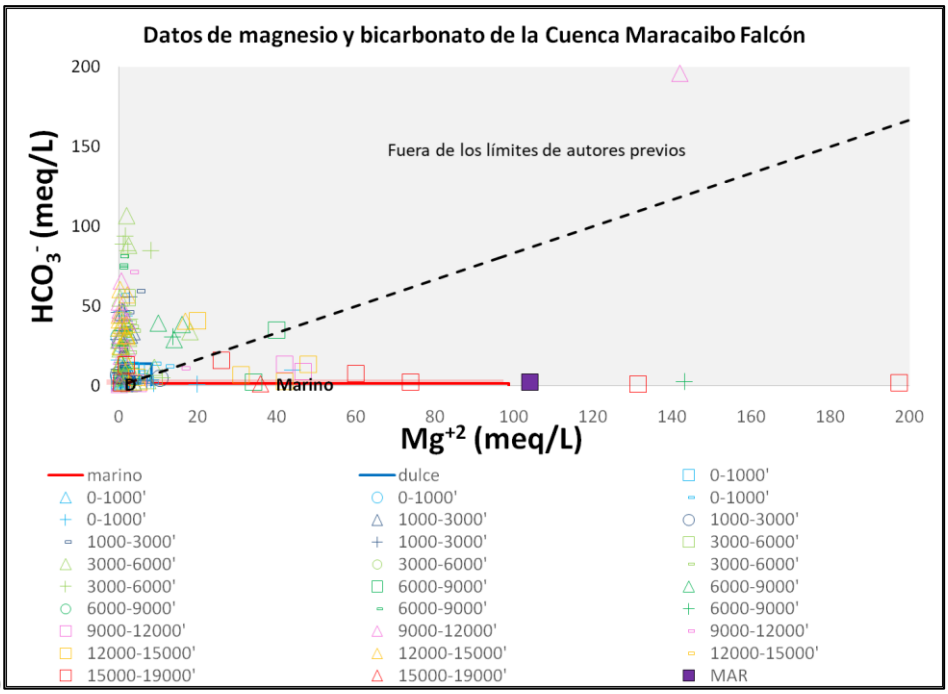
Los 237 datos utilizados en este análisis, a partir de la relación Mg^{2+}/HCO_3^- fueron subdivididos por profundidad y se resumen en la Tabla 19 y en la Figura 55.

La mayoría de las muestras presentan concentraciones de bicarbonato y magnesio consistentes con la composición típica de aguas dulces (Figura 55[a]). Las aguas consistentes con aguas marinas se observan desde los 6.000 pies, en especial para el intervalo de profundidad 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros) (color rojo, Figura 55). En particular para algunas de las muestras entre 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) (UDVIII) se sospecha de incursión de aerosol marino (Calvo Gordaliza *et al*., 2009) o de la mezcla con agua de mar. Por otra parte, en algunas muestras, la relación Mg-HCO_3 muestra una correlación, indicando un aporte de iones desde la litología circundante, por ejemplo, mediante la disolución de carbonatos (color rosa, Figura 55[c]). Finalmente, las muestras tomadas en formaciones equivalentes a la UDII presentan, de manera consistente, una tendencia al comportamiento de las aguas de origen marino, independientemente del nivel estratigráfico.

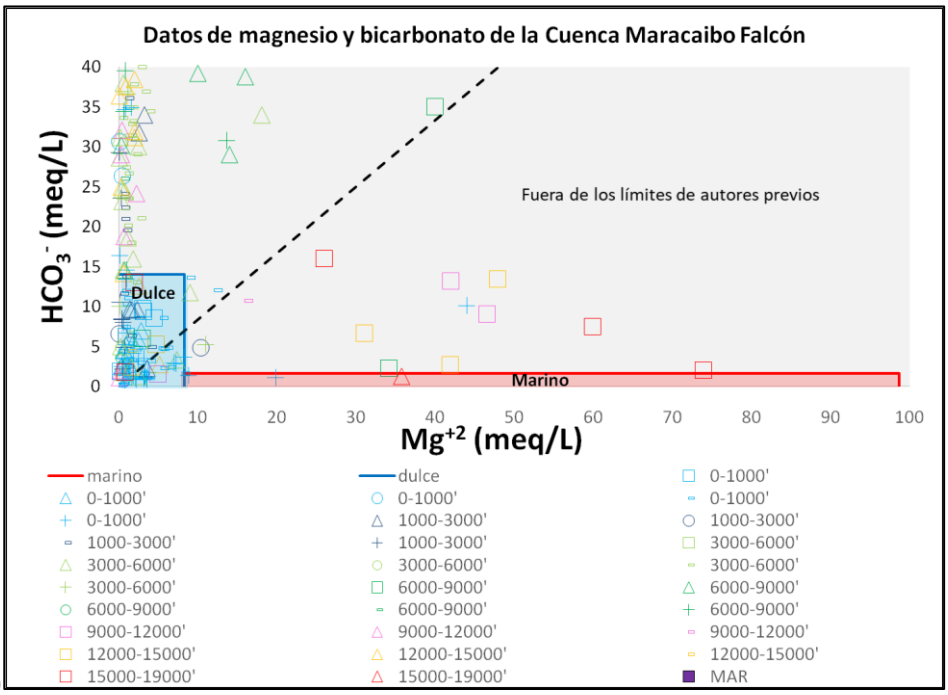
Tabla 19. Resumen de la relación molar Mg^{2+}/HCO_3^- en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	Aguas dulces	Mezcla	Aguas marinas	Fuera de los intervalos de concentración característicos de un tipo de agua
0-1.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	50 muestras sin UDV	16 muestras en la UDVII y UDVIII	2 muestras en la UDVIII	23 muestras. Con especial atención a la muestra M-980 enriquecida en HCO_3^-.
1.000-3.000	UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	15 muestras	1 muestra en la UDVIII		15 muestras. Con especial atención a las muestras M-116 y M-134 enriquecidas en HCO_3^-
3.000-6.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	6 muestras sin UDII			44 muestras. Con especial atención a las muestras M-879, M-163, M-244, M-956 y M-927 enriquecidas en HCO_3^-
6.000-9.000		2 muestras en UDII y UDV			15 muestras. Con especial atención a las muestras M-937, M-938 y M-939 enriquecidas en HCO3 y a las muestras M-981 y M-135 enriquecidas en Mg^{2+}.
9.000-12.000	UDII, UDIV y UDVII	1 muestra en la UDIV	2 muestras en la UDII y UDIV		14 muestras. Con especial atención a las muestras M-970, M-633, M-634 y M-963 enriquecidas en HCO_3^-
12.000-15.000		5 muestras			16 muestras. Con especial atención a las muestras M-969, M-968, M-851 y M-950 enriquecidas en HCO_3^- y a la muestra M-917 enriquecida en Mg^{2+}.
15.000-19.000	UDII y UDIV	2 muestras en la UDII		1 muestra en la UDIV	5 muestras. Con especial atención a las muestras M-850, M-26 y M-11 enriquecida en Mg^{2+}.

a)


Datos de magnesio y bicarbonato de la Cuenca Maracaibo Falcón
HCO3- (meq/L)
Mg+2 (meq/L)
Fuera de los límites de autores previos
Marino
marino
dulce
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
MAR

b)


Datos de magnesio y bicarbonato de la Cuenca Maracaibo Falcón
HCO3- (meq/L)
Mg+2 (meq/L)
Fuera de los límites de autores previos
Dulce
Marino
marino
dulce
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
MAR

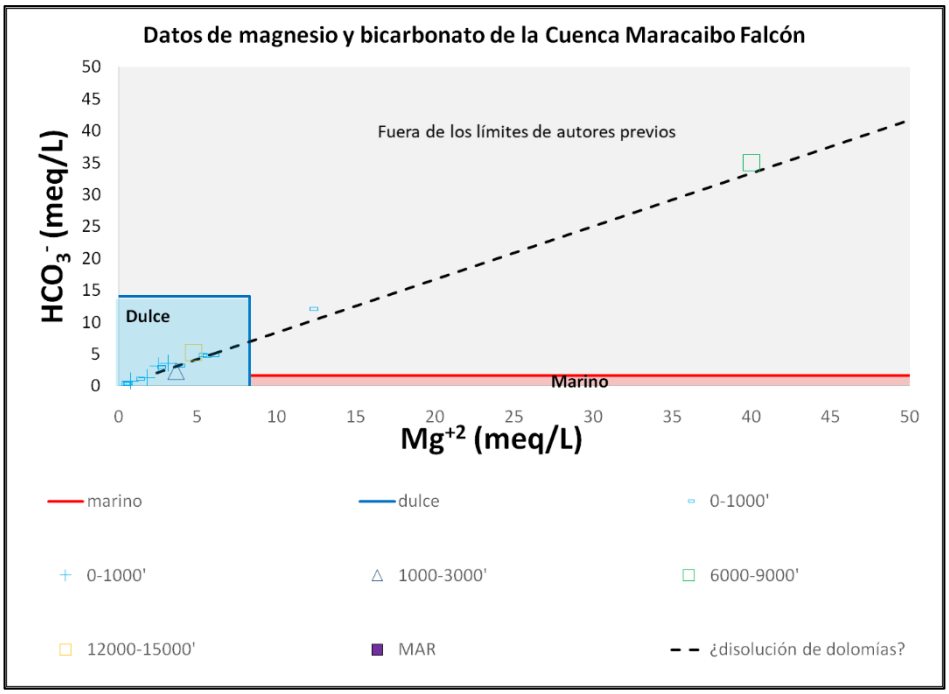
c) 

Figura 55. Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Escala hasta 200 meq/L Mg^{2+} y 200 meq/L de HCO_3^-, b) Escala hasta 100 meq/L Mg y 40 meq/L de HCO_3^-de acuerdo con los límites propuestos por (Custodio y LLamas, 1976 y De Sousa, 2006) y c) escala hasta 50 meq/L Mg^{2+} y 50 meq/L de HCO_3^-de las muestras con una relación molar que pudiera relacionarse con disolución de dolomías. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

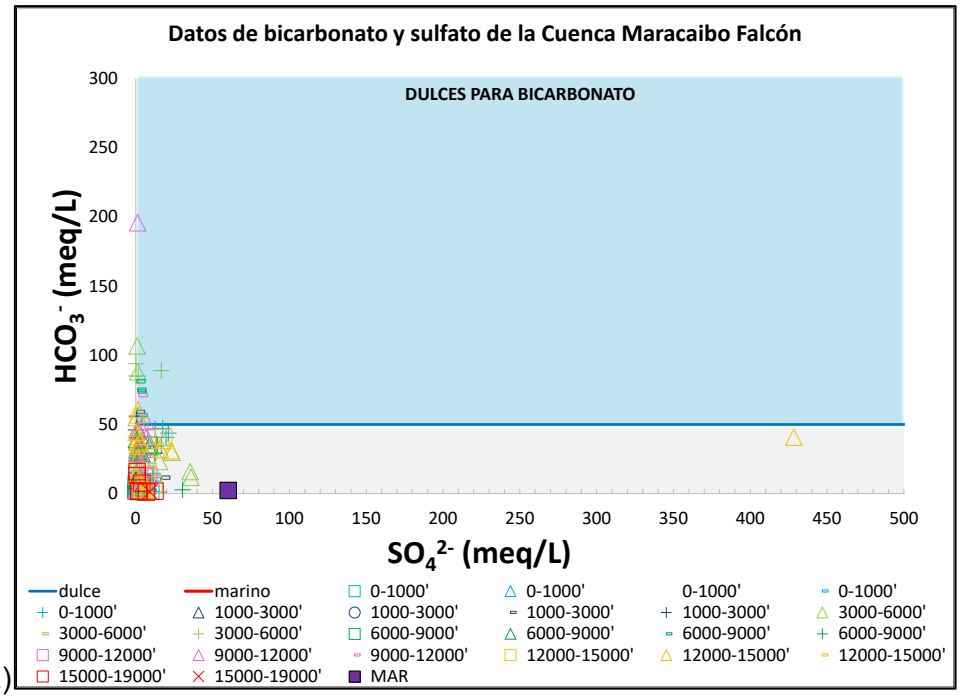
Bicarbonato y sulfato

El ion sulfato generalmente se relaciona con presencia de agua marina o ambientes evaporíticos, y por lo tanto su concentración suele mantener una relación inversa con la del bicarbonato, que generalmente se relaciona con aguas de intercambio iónico o meteóricas. Adicionalmente, las concentraciones de sulfato no acostumbran a ser superiores a ~400 meq/L en ninguno de los casos (Kharaka & Harnor, 2003). Las 202 muestras evaluadas se grafican en la Figura 56 y se pudo identificar que la mayoría de ellas están en el campo de agua dulce, en más detalle:

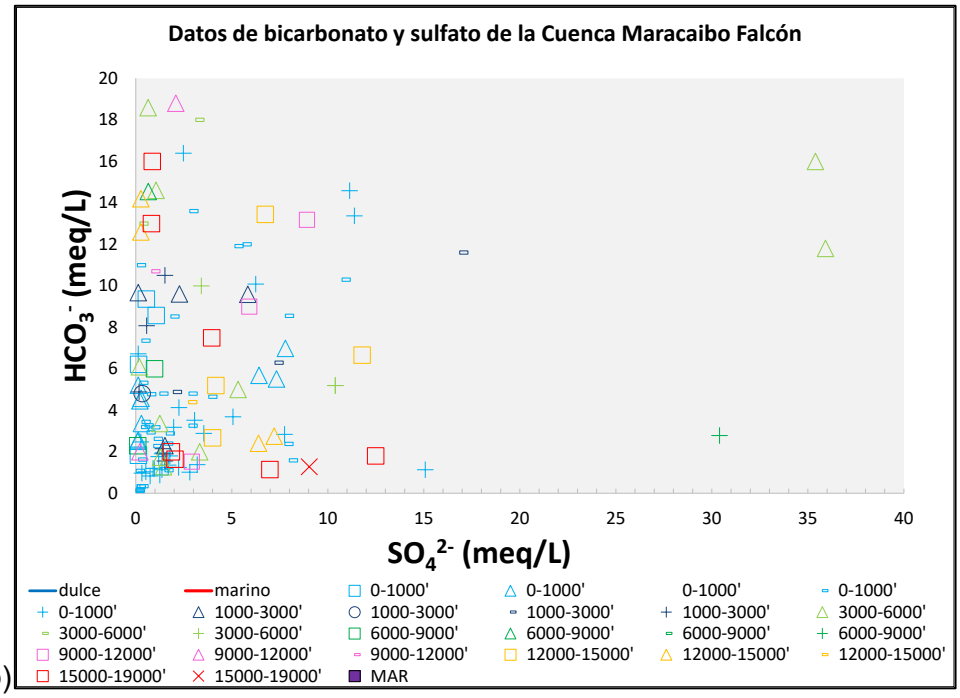
- Enriquecimiento de sulfato en las muestras en el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), tomadas en la UDVIII asociadas a la Cuenca de Falcón, posiblemente indicativo de un proceso de interacción roca-fluidos.

- Relación dispersa en las muestras de intervalo de profundidad 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), considerando las bajas relaciones entre los iones para los demás intervalos.

- Las muestras del intervalo de profundidad desde 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros) se encuentra empobrecidas en HCO_3^-.



a)



b)

Figura 56. Gráfico de concentraciones de sulfato con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Escala hasta 500 meq/L SO_4^{2-} y 300 meq/L de HCO_3^- y, b) Escala hasta 40 meq/L SO_4^{2-} y 20 meq/L de HCO_3^-. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Sulfato

La concentración del ion sulfato suele ser elevada en ambientes con una alta tasa de evaporación donde existe un enriquecimiento relativo respecto a los demás iones (Kharaka y Harnor, 2003). Sin embargo, también existen relaciones interelementales relacionadas con su proporción en el agua de mar, tal como se observó con el ion cloro.

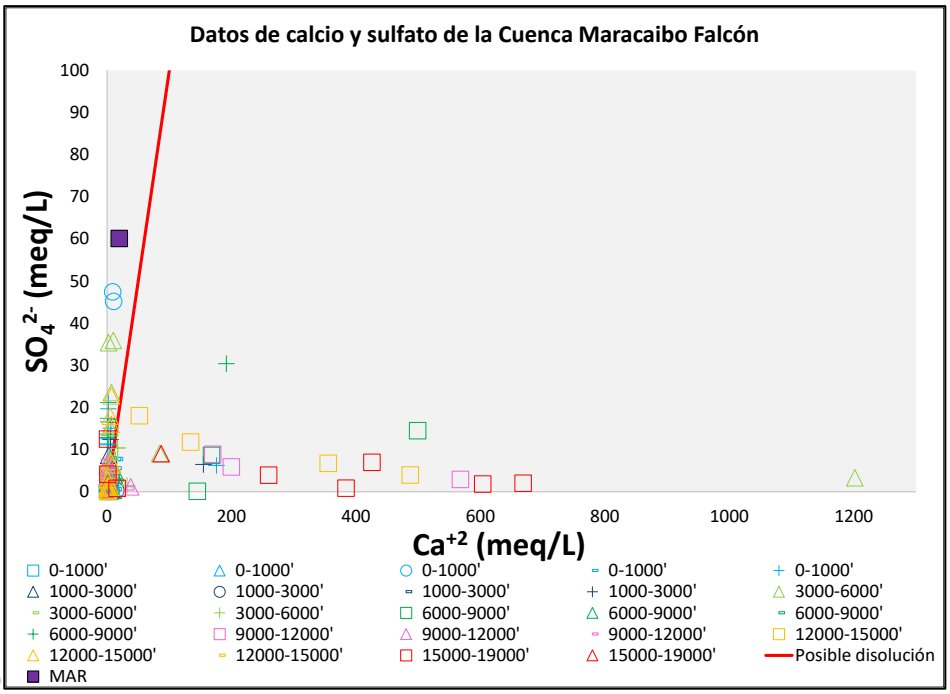
Sulfato y calcio

Los 209 datos utilizados en este análisis, a partir de la relación Ca^{2+}/SO_4^{2-} fueron subdivididos por profundidad y se resumen en la Figura 57 y en la Tabla 20. En la naturaleza existen aguas enriquecidas en estos elementos por disolución, entre otros, de los minerales como yeso o anhidrita y en esos casos tendrían relaciones molares 1:1 (línea de color rojo). En general no se observa una correlación clara entre estos iones.

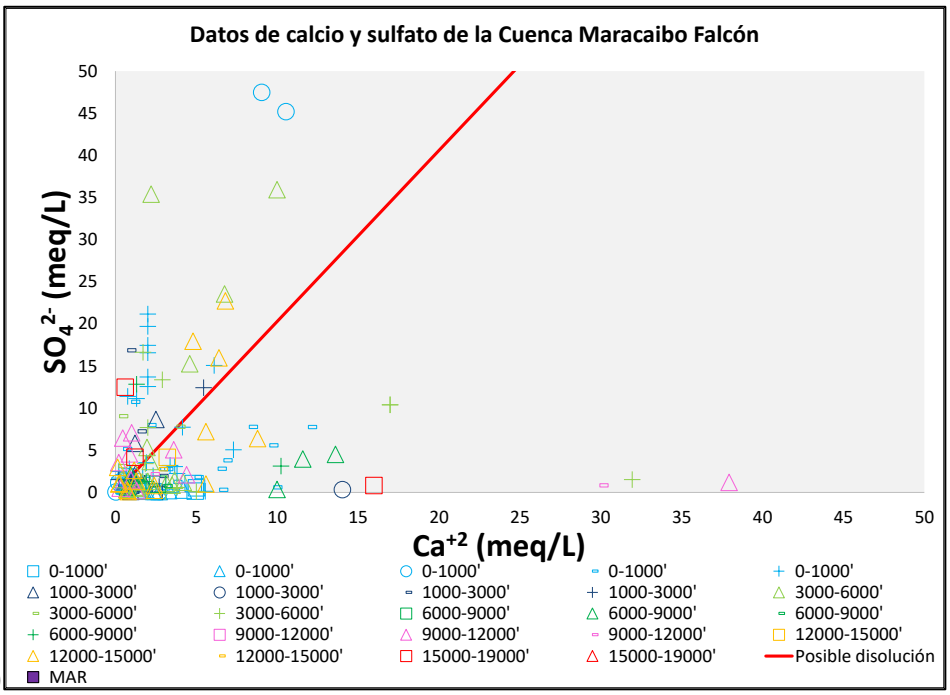
Tabla 20. Resumen de la relación molar Ca^{2+}/SO_4^{2-} en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	$Ca^{+2}/SO^{-4}>1$	Relación 1:1	$Ca^{+2}/SO^{-4}<1$
0-1.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	44 muestras especial atención a M-140	6 muestras en UDVII y UDVIII	37 muestras en UDV, UDVII y UDVIII especial atención a M-640 y M-641
1.000-3.000	UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	12 muestras especial atención a M-31		10 muestras, sin UDV
3.000-6.000	UDIV, UDVII y UDVIII	19 muestras especial atención a M-59		14 muestras
6.000-9.000	UDII, UDIV, UDVII y UDVIII	13 muestras especial atención a M-981, M-231, M-229 y M-961	1 muestra en UDVII	3 muestras en la UDIV y UDVIII
9.000-12.000	UDII, UDIV y UDVII	19 muestras especial atención a M-138, M-139, M-123	1 muestra en UDVII	7 muestras en la UDIV
12.000-15.000		10 muestras especial atención a M-952, M-919, M-918 y M-917		12 muestras especial atención a M-291 y M-851
15.000-19.000	UDII y UDIV	7 muestras especial atención a M-850, M-878, M-26, M-11 y M-25		2 muestras en la UDII especial atención a M-10

Sólo 8 de las muestras tienen una relación de calcio sulfato 1:1 en la cual pudiera estar afectada por la disolución de yeso, cuyo sulfato podría provenir de la oxidación de pirita; en las formaciones geológicas asociadas a la UDVII. Pero en principio esta unidad no presenta ni yeso ni pirita (Tabla 10).



a)



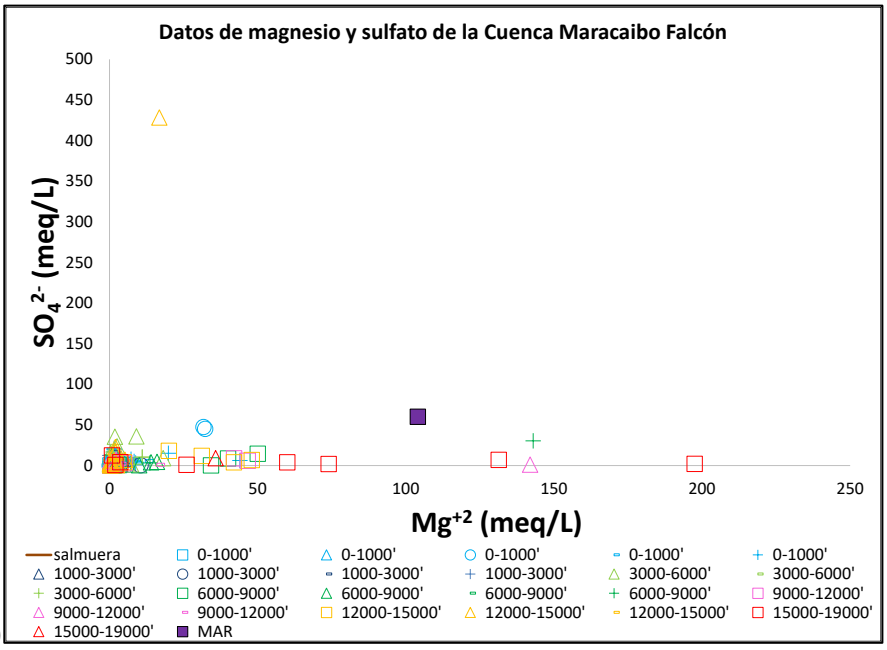
b)

Figura 57. Gráfico de concentraciones de calcio con relación a sulfato de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Escala hasta 1300 meq/L Ca^{2+} y 100 meq/L de SO_4^{2-}y, b) Escala hasta 50 meq/L Ca^{2+} y 50 meq/L de SO_4^{2-}. Línea roja con relación 1:1 de los iones que podría correlacionarse con la disolución de yeso y/o anhidrita. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadro de color morado es la muestra de agua de mar.

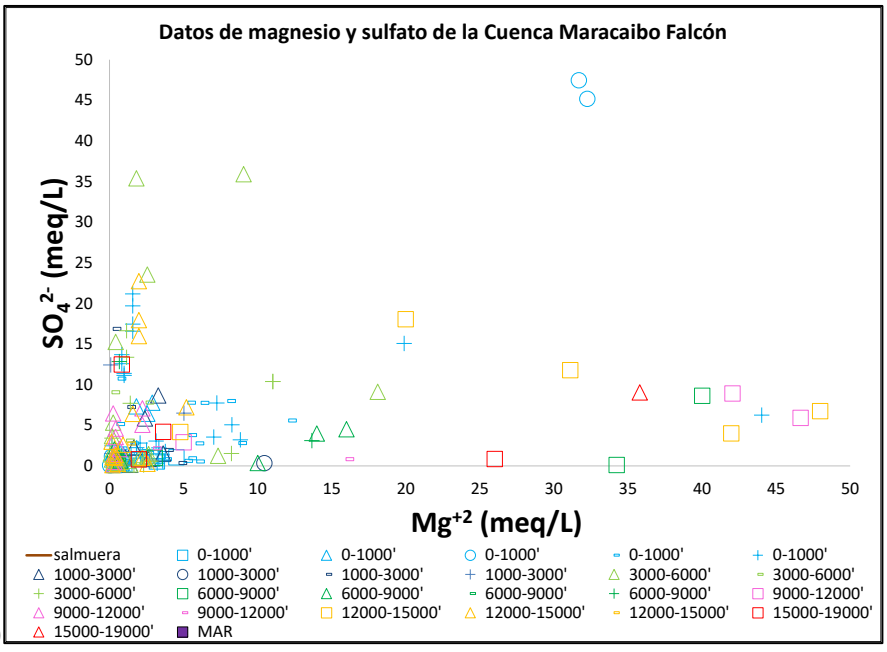
Sulfato y magnesio

Los 210 datos utilizados en esta sección, a partir de la relación Mg^{2+}/SO_4^{2-} se muestran por profundidad del muestreo en la Figura 58. La concentración de magnesio en la mayoría de las

muestras se encuentra por debajo de lo esperable en ambientes de agua dulce. A partir de 6.000 pies (~2.000 metros) la concentración de sulfatos disminuye, con excepción de la muestra M-291. Y la concentración de magnesio aumenta, en particular para el intervalo de profundidad de 12.000 a 19.000 pies (~4.000 a 6.500 metros).



a)



b)

Figura 58. Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a sulfato de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con el límite de agua dulce propuesto para magnesio en Davis y De Wiest (1971). a) escala hasta 200 meq/L Mg^{2+} y 500 meq/L de SO_4^{2-}y, b) escala hasta 50 meq/L Mg^{2+} y 50 meq/L de SO_4^{2-}. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadro de color morado es la muestra de agua de mar.

Sodio y potasio

Los cationes sodio y potasio son altamente móviles. De Sousa (2006), Kharaka y Harnor (2003) y Vásquez Castro (1998), han planteado que valores en la relación entre sodio y potasio son a su vez probablemente indicativas de la proveniencia. El origen del sodio como ion puede provenir del agua de mar o de las aguas meteóricas, mientras que el potasio proviene mayoritariamente del intercambio roca-agua en ambientes meteóricos.

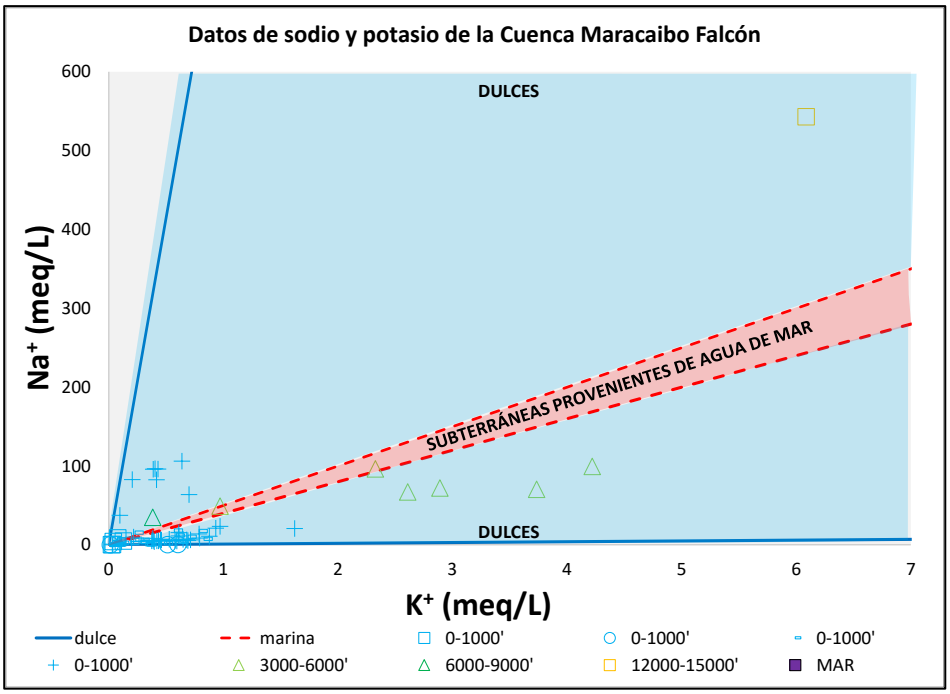
No obstante, los análisis fisicoquímicos disponibles suelen reportar una concentración combinada de sodio y potasio, lo que reduce la cantidad de datos individuales disponibles y, en consecuencia, los intervalos de profundidad representados en este estudio.

De los datos originales, se pudieron obtener 82 valores para la relación K^+/Na^+, los cuales se subdividieron por profundidad y se resumen en la Tabla 21 y en la Figura 59. Los resultados revelan que las concentraciones aumentan con la profundidad. Cabe destacar que las muestras de la formación UDVIII presentan un enriquecimiento particularmente alto en sodio, lo que sugiere un aporte iónico derivado del agua de mar.

Tabla 21. Resumen de la relación molar K^+/Na^+ en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	Aguas marinas	Aguas dulces	Fuera de los intervalos de concentración característicos de un tipo de agua
0-1.000	UDII, UDV, UDVII y UDVIII	2 muestras UDVII y UDVIII	69 muestras, las tomadas en la UDVIII tienen mayor concentración de Na^+	3 muestras en UDV (mina de carbón) y UDVIII
3.000-6.000	UDIV	1 muestra UDIV	5 muestras con las mayores concentraciones de K^+ en la columna	
6.000-9.000	UDIV		1 muestra	
12.000-15.000	UDII		1 muestra	

a)



b)

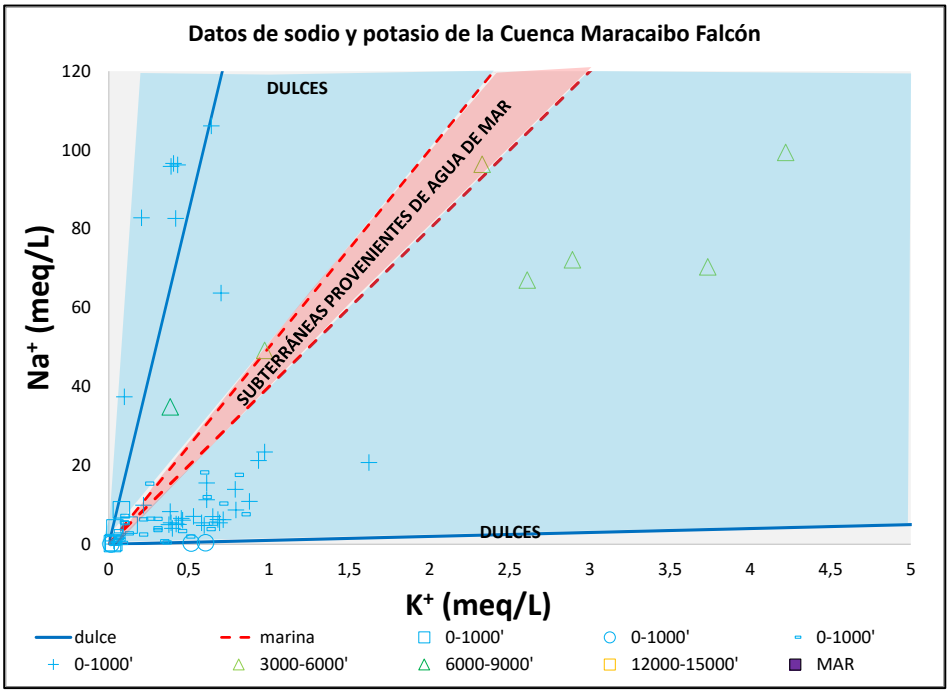


Figura 59. Gráfico de concentraciones de potasio con relación a sodio de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con las concentraciones esperadas sugeridas por De Sousa (2006), Kharaka y Harnor (2003) y Vásquez Castro (1998). a) escala 7 meq/L de K^+ y 600 meq/L de Na^+ y b) escala 5meq/L de K^+ y 120meq/L de Na^+. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadro de color morado es la muestra de agua de mar.

Calcio y magnesio

Los iones calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) son cationes mayoritarios con un tiempo de residencia prolongado, cuya relación (Mg^{2+}/Ca^{2+}) es indicativa del ambiente hidrogeoquímico de origen. Para

este análisis, los 222 datos de la relación Mg^{2+}/Ca^{2+} se clasificaron en tres grupos según la profundidad:

- Aguas enriquecidas en Ca^{2+} (Mg^{2+}/Ca^{2+}< 0,3).
- Aguas de posible origen continental (0,3 < Mg^{2+}/Ca^{2+}< 1,5), donde valores próximos a 1 sugieren interacción con dolomía.
- Aguas con influencia de gabros/basaltos o agua de mar (Mg^{2+}/Ca^{2+}> 1,5).

Esta clasificación se resume en la Tabla 22 y en la Figura 60, con base en los criterios establecidos por De Sousa (2006) y Kharaka y Harnor (2003). Los resultados indican que la mayoría de las muestras presentan un enriquecimiento en calcio o bajas concentraciones de ambos iones.

Se identificaron nueve muestras (M-25, M-26, M-37, M-135, M-140, M-289, M-291, M-850, M-918) con una relación 1:1, coherente con la interacción agua-roca con formaciones dolomíticas. Adicionalmente, se destacan las muestras con un enriquecimiento en Mg^{2+} con relación al Ca^{2+}. Este patrón puede atribuirse a: (i) un aporte externo de magnesio (p. ej., por influencia de agua de mar), o (ii) la precipitación de calcita en el sistema, que reduce la concentración de Ca^{2+} en solución y aumenta relativamente la proporción de Mg^{2+}.

Tabla 22. Resumen de la relación molar Mg^{+2}/Ca^{+2}en las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	Mg^{+2}/Ca^{+2}<0,3	0,3<Mg^{+2}/Ca^{+2}<1,5	Mg^{+2}/Ca^{+2}~1	Mg^{+2}/Ca^{+2}>1,5
0-1.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	10 muestras	46 muestras	4 muestras en la UDII y UDVII	34 muestras en UDV, UDVII y UDVIII especial atención a M-413
1.000-3.000	UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	5 muestras	16 muestras		4 muestras en UDII y UDVII
3.000-6.000	UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII	12 muestras	18 muestras sin UDII	3 muestras en UDIV	3 muestras en UDII y UDVII
6.000-9.000		6 muestras	11 muestras	1 muestra en la UDIV	
9.000-12.000	UDII, UDIV y UDVII	5 muestras especial atención a M-123	9 muestras en la UDIV y UDVII		3 muestras en la UDIV
12.000-15.000		7 muestras	11 muestras	1 muestra en la UDIV	2 muestras en la UDIV
15.000-19.000	UDII y UDIV	5 muestras en la UDII	3 muestras		1 muestra en la UDII

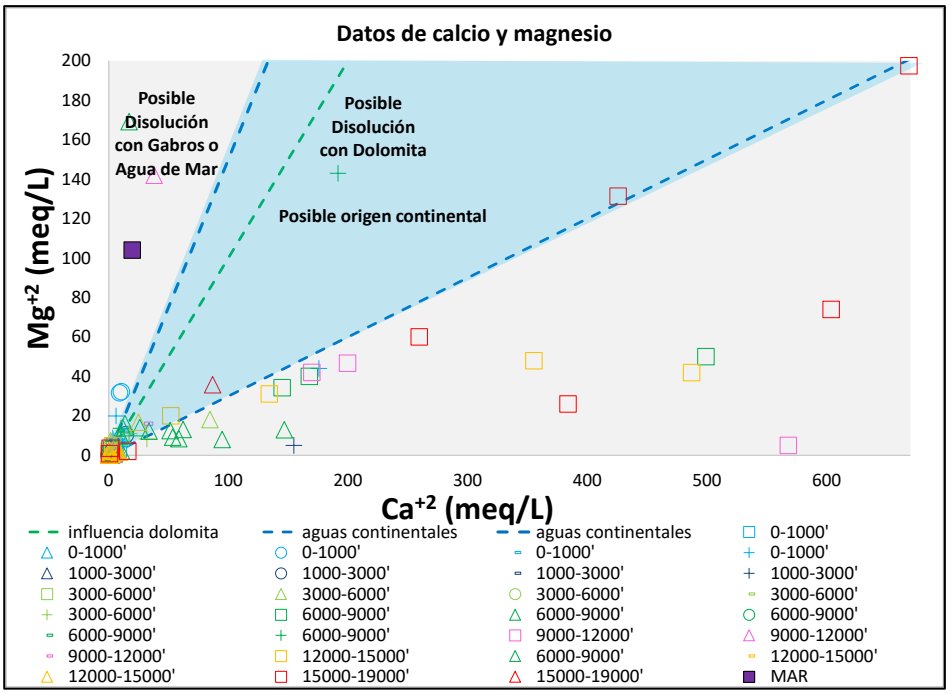


Figura 60. Gráfico de concentraciones de calcio con relación a magnesio de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con los límites en De Sousa (2006) y Kharaka y Harnor (2003). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadro de color morado es la muestra de agua de mar.

En resumen y a partir del comportamiento individual de las 249 muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón en su relación interiónica se pudieron discretizar en 5 grupos: aguas dulces (149), agua sulfatada (1), aguas de mezcla (13), aguas connatas (12) y aguas connatas muy diluidas (65) (Figura 61): existen interacciones roca fluidos a nivel del noroccidente de la cuenca en el intervalo de profundidad 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), que indican posible interacción con el aerosol marino por la cercanía al Mar Caribe y el Lago de Maracaibo (Calvo Gordaliza *et al.*, 2009). Las muestras de agua con una relativa abundancia de sulfato y/o de mezclas en las concentraciones suelen estar asociadas a las muestras en el Lago de Maracaibo o en áreas con contenido de carbones. Las características predominantes son de agua dulce; sin embargo, existe un intercambio iónico activo en la interacción de fluidos, ya que muchas de ellas presentan aumentos relativos de iones como calcio y magnesio.

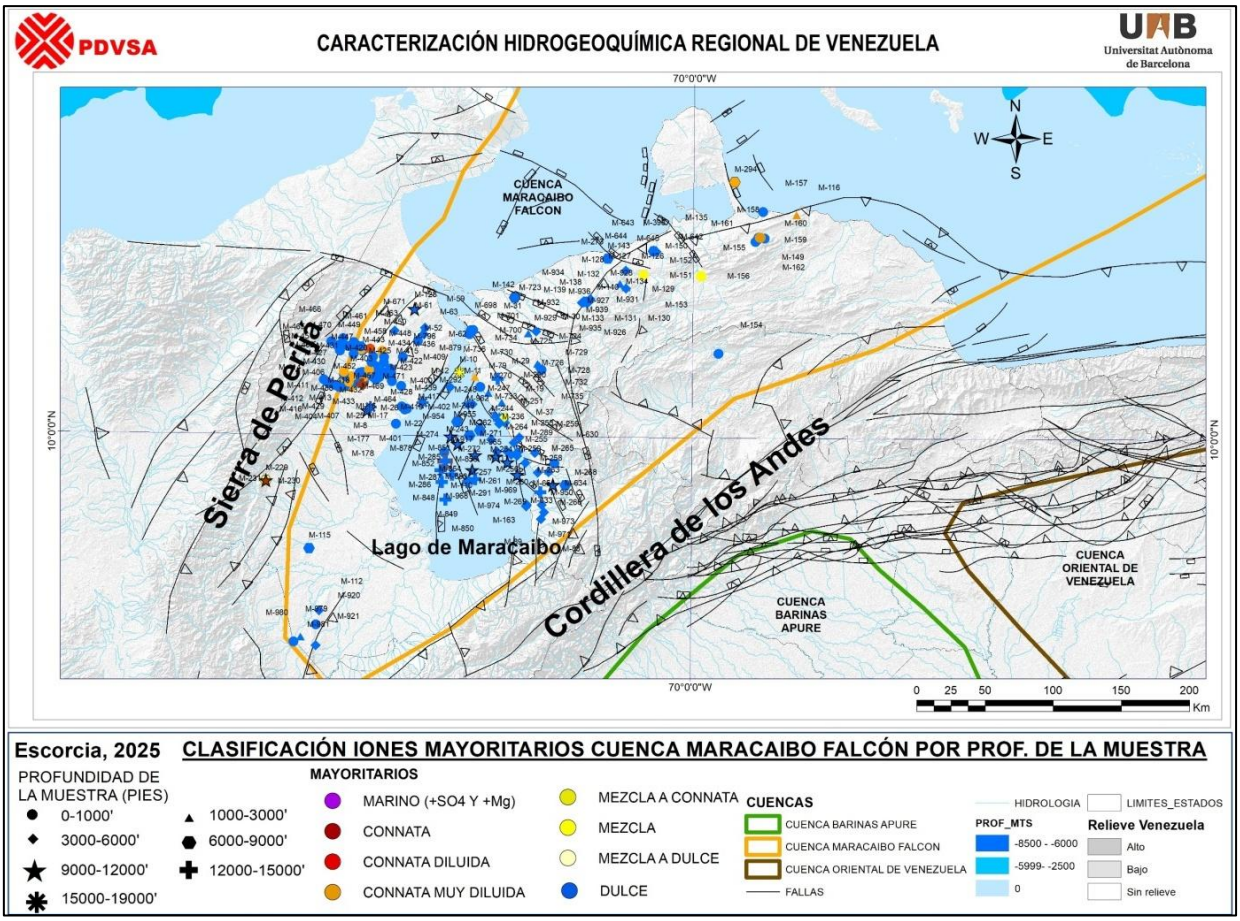


Figura 61. Resumen de las características observadas en las relaciones Inter elementales de la Cuenca Maracaibo Falcón con la ubicación geográfica y en relación con las redes hidrográficas y elementos estructurales. En color rojo a naranja las aguas connatas, en color verde las aguas de mezclas y en color azul las aguas dulces. La forma de los símbolos indica el intervalo de profundidad a la cual fue tomada la muestra.

Elementos minoritarios

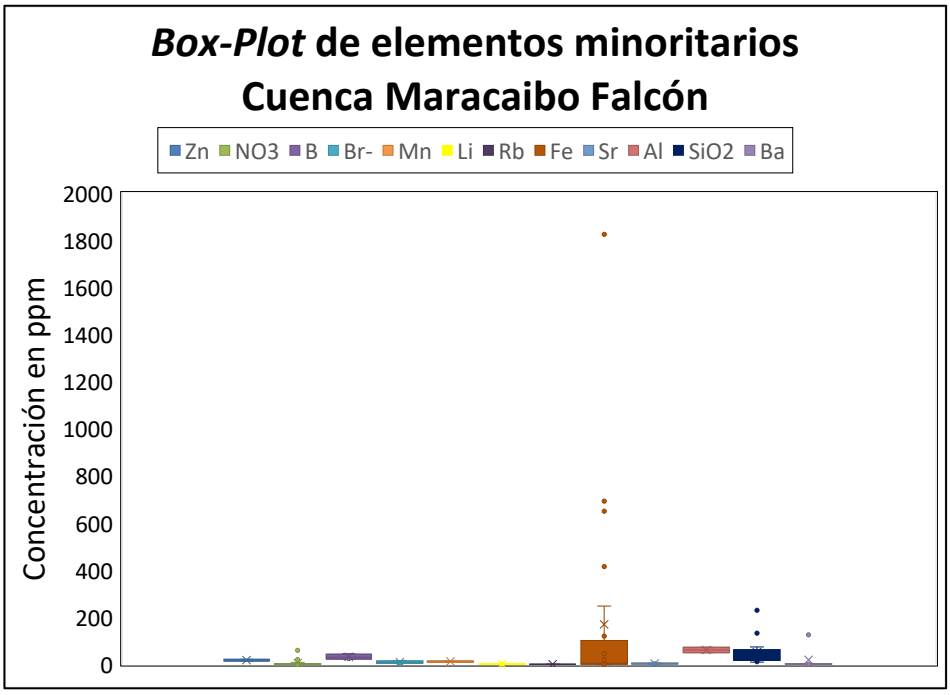
Los iones minoritarios reportados con análisis disponibles fueron nitratos, hierro, sílice, bromo, boro, estroncio, aluminio, manganeso, cobre, litio, rubidio, bario y zinc. El análisis indicaría, dependiendo del elemento químico, posibles indicios de: presencia de actividad antrópica, ambientes con alta evaporación, interacción roca-fluido, actividad orgánica en el área, cambios en las condiciones óxido-reducción, ambientes de altas temperaturas, presencia de minerales o rocas en la zona, tiempos de residencia o ambientes de alta meteorización (Appelo y Postma, 2005; Argust, 1998; Drever, 1997; Zhu *et al*., 2024; Fournier y Potter II, 1982; Zhang *et al*., 2023).

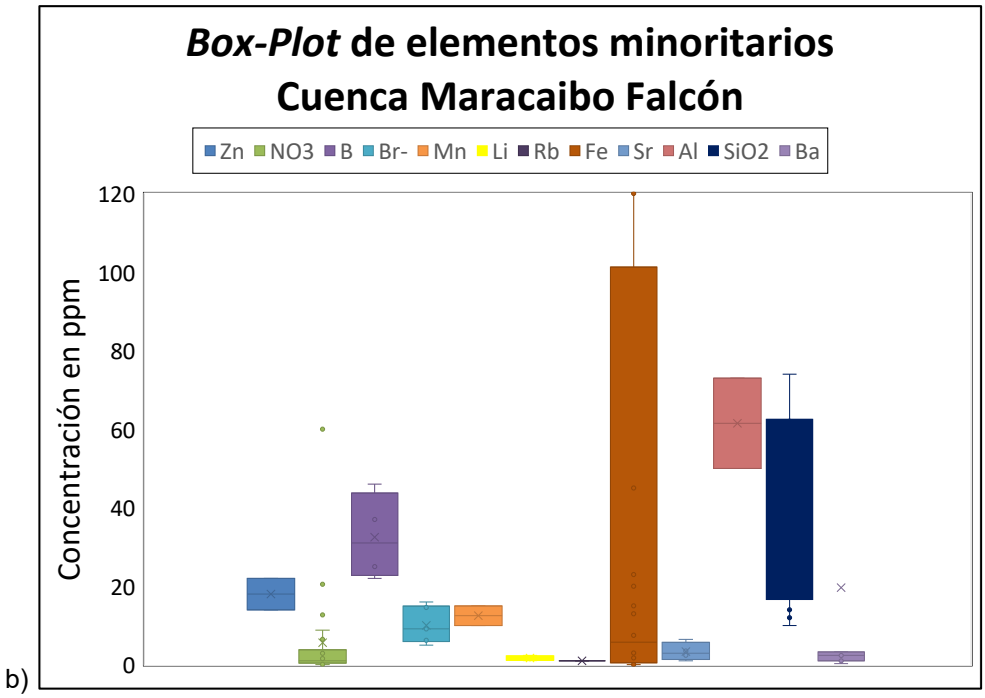
La Tabla 23 contiene la volumetría de muestras disponibles con dato hidrogeoquímico por ion minoritario y por rango de profundidad a la cual fue tomada la muestra. La Figura 62 es un gráfico de cajas y bigotes con las concentraciones en partes por millón (ppm) de los iones minoritarios reportados en las muestras de agua con análisis hidrogeoquímico disponibles, separados por intervalo de profundidad a la cual fue tomada.

Tabla 23. Resumen del número de muestras con datos hidrogeoquímicos disponible por ion minoritario y por rango de profundidad en el cual fue tomada la muestra en la Cuenca Maracaibo Falcón.

		Cantidad de muestras con dato reportado del Ion minoritario												
		Nitrato	Boro	Bromuros	Mangeneso	Cobre	Litio	Rubidio	Hierro	Estroncio	Aluminio	Sílice	Bario	Zinc
Rango de profundidad (pies)	0-1.000	22			2				3		2	4		2
	1.000-3.000								3			1		
	3.000-6.000		4	6			4	2	11	4		8	4	
	6.000-9.000								3			1	2	
	9.000-12.000								1			1		
	12.000-15.000								1			1	1	
	15.000-19.000								2			1		
	Total	**22**	**4**	**6**	**2**	**0**	**4**	**2**	**24**	**4**	**2**	**17**	**7**	**2**

a)





b)

Figura 62. Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes para la Cuenca Maracaibo Falcón de la concentración en ppm de los iones minoritarios analizados. a) Gráfico con una escala de 0 a 2000 ppm, b) Gráfico con una escala de 0 a 120 ppm. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja).

- Evidencias de actividad antrópica: Se observan evidencias de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (Vitoria *et al*., 2015), la presencia de las especies zinc (>3 mg/L), nitratos (>50mg/L) y boro (>2,4 mg/L) e indica bajos tiempos de residencia en el agua. Las muestras M-640 y M-641 presentan una concentración de zinc superior al límite esperado en aguas meteóricas; sin embargo, están asociadas a una mina de carbón, donde Montero y Martínez (2014) señalan su presencia en la Formación Carbonera (Tabla 10) como parte de la matriz inorgánica del carbón debido a su afinidad con el azufre. El Río El Palmar también presenta concentraciones no naturales en su composición, de nitrato, para la muestra M-467. Las muestras con datos de concentración de boro cercanas al Lago de Maracaibo se encuentran por encima del nivel de referencia; pero más allá de la actividad antrópica podrían estar relacionados con interacción agua-hidrocarburos en el área considerando que son muestras tomadas en un rango de profundidad de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros; Angulo, 2016).

- Evidencias de actividad orgánica: la presencia de materia orgánica ya sea por turberas, rocas madre o crudo, aporta componentes orgánicos a las aguas. Cuatro de los elementos que pueden deducirse son nitrato (<0,5 mg/L), boro (5–50 mg/L), bromuro (50–500 mg/L),

manganeso (0,5–20 mg/L) y cobre (0,1–10 mg/L) (Appelo y Postma, 2005). La concentración de nitratos podría relacionarse con materia orgánica en 6 muestras del Río El Palmar (M-418, M-433, M-434, M-438, M-449 y M-471). La concentración de boro en las muestras M-163, M-88, M-971 y M-973 podrían relacionarse con influencia de materia orgánica a una profundidad de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) tomados en la UDIV (Tabla 23). La concentración de manganeso es de 10 y 15 mg/L en las muestras M-640 y M-641 nuevamente en la mina de carbón, donde puede ser incorporado en el proceso fotosintético o en minerales como siderita y calcita (Montero & Martínez, 2014).

- Evidencias de un área de meteorización: En áreas con altas tasas de meteorización los elementos más lixiviados como potasio y sodio suelen presentarse con mayor concentración. Puede ser por lixiviación de silicatos, adsorción en arcillas, o enriquecimiento en salares. En este caso se estudió la presencia de litio (0,1–10 mg/L) y rubidio (>1 mg/L) (Huh *et al*., 1998). Las muestras M-163, M-88, M-89 y M-973, tomadas en la UDIV entre 3.000 y 6.000 pies de profundidad (~1.000 a 2.000 metros), tienen valores entre 1-3 mg/L de litio que pudieran estar relacionadas con mayores tasas de disolución asociadas al incremento de temperatura (las muestras se encuentran entre 60 y 70°C) y los factores diagenéticos. Los datos de rubidio se encuentran por debajo del límite de detección.

- Evidencias de cambios en las condiciones de óxido reducción: Los límites establecidos en la metodología indican que, en el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), las muestras M-640 y M-641, provenientes de una mina de carbón en la Formación Carbonera, presentan concentraciones de hierro superiores al rango característico de ambientes reductores. Asimismo, las muestras M-128, M-129, M-131, M-267, M-849, M-955, colectadas en las formaciones geológicas Castillo, Cauderalito, Misoa y La Rosa también registran valores elevados de hierro (Tabla 23). Por otra parte, la concentración de estroncio en las muestras M-163, M-88, M-89 y M-973, tomadas en la UDIV (Formación Misoa) entre 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) de profundidad se sitúa entre 1 y 5 mg/L, un rango que pudiera estar relacionado con ambientes reductores.

- Evidencias de interacción roca-agua: existen algunos elementos cuyo proceso de disolución es medible cuando se alcanza la constante de solubilización. Si se mide la concentración de bario se puede estimar una tasa de disolución de minerales como baritina y algunos feldespatos cuando se encuentra en valores de 0,1 a 10 mg/L; todas las muestras con dato disponible (M-952, M-163, M-88, M-89, M-973 y M-651), se encuentran en el rango descrito en la metodología con especial atención a la muestra M-294 tomada en la UDVIII (Formación Socorro) en un intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros) con valores de 126 mg/L considerado de posibles fuentes hidrotermales (Appelo y Postma, 2005). Adicionalmente,

en la Cuenca de Maracaibo las concentraciones más elevadas de aluminio (50-70 ppm) se asocian con la Formación Carbonera en un ambiente de depositación que refleja una transición desde sistemas deltaicos hasta fluviales y costeros en las muestras M-640 y M-641 (Azpiritxaga & Casas, 1989).

- Evidencia de tiempos de residencia: Los minerales que tienen una baja velocidad de disolución cinética (Kps), como el cuarzo, suelen ser irreconocibles en los análisis fisicoquímicos de las muestras de agua. Altos contenidos de sílice en un análisis son indicativos de un alto tiempo de residencia de la muestra de agua, puesto que suele provenir de la disolución de minerales silicatados que tienen una baja tasa de disolución. En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) la concentración de sílice varía de 10 a 32 mg/L a una temperatura de 25°C en las muestras M-399, M-640, M-641 y M-630 nuevamente asociadas a la mina de carbón de la formación Carbonera. En el intervalo de profundidad de 1.000 a 6.000 pies (~300 a 2.000 metros) la concentración de sílice varía de 12 a 133 mg/L a una temperatura entre 35 y 66°C en las muestras M-62, M-163, M-267, M-270, M-89, M-971, M-973, M-29 y M-956 que pudiera estar asociada a la disolución por disolución de cuarzo o aguas termales profundas. En el intervalo de profundidad de 6.000 a 12.000 pies (~2.000 a 4.000 metros) la concentración de sílice varía de 25 a 53 mg/L a una temperatura entre 84 y 108°C en las muestras M-952, M-955 y M-230 que pudiera estar asociada a la alteración o diagénesis de silicatos. Finalmente, en el intervalo de profundidad de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros) la concentración de sílice de la muestra M-878 es de 230 mg/L a una temperatura de 127°C que podría ser indicativa de aguas termales profundas con largos tiempos de residencia. También es posible que exista una fuente hidrotermal profunda que se encuentra en un proceso de mezcla con aguas de concentraciones menores.

Las muestras analizadas pueden clasificarse en 14 condiciones hidrogeoquímicas distintivas, resultantes de la combinación de múltiples procesos. Los hallazgos más relevantes, organizados por profundidad, son los siguientes:

- **0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros)**: Se identifican muestras anómalas en la mina de carbón (UDV) y en el Río El Palmar (UDVII y UDVIII). Las concentraciones de elementos minoritarios sugieren influencia antrópica, generando ambientes reductores que favorecen la disolución de minerales y tiempos de residencia entre medios y altos. Adicionalmente, se observan aguas superficiales con temperaturas elevadas que podrían promover la disolución hidrotermal de SiO_2.

- **1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros)**: En la Cuenca de Maracaibo, las concentraciones de sílice indican tiempos medios de residencia, mientras que en la Cuenca de Falcón se identifican condiciones potencialmente reductoras.

- **3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros)**: En la Cuenca de Maracaibo (UDIV y UDVII), el ambiente fue posiblemente reductor, con presencia de aguas termales que alteraron las rocas y posible precipitación de halita (basado en la relación Br^-/Cl^-). Los tiempos de residencia varían de medios a largos, evidenciados por altas concentraciones de sílice. En la Cuenca de Falcón (UDIV y UDVIII), solo se detecta un posible ambiente reductor.

- **6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros)**: En la Cuenca de Maracaibo, tres muestras sugieren condiciones reductoras, disolución de minerales lábiles (ej. feldespatos) y, en un caso, largos tiempos de residencia (altas concentraciones de sílice).

- **9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros)**: Solo una muestra con datos de elementos minoritarios fue caracterizada como proveniente de un ambiente reductor, con tiempo medio de residencia (Concentraciones de sílice ligeramente elevadas).

- **12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros)**: La muestra M-952 (UDII) presenta tiempo de residencia medio (Concentraciones de sílice ligeramente altas) y disolución de minerales lábiles como feldespatos.

- **15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros)**: Se identifican tres muestras asociadas a un posible ambiente reductor en sistemas de aguas termales.

Esta síntesis refleja la diversidad de condiciones hidrogeoquímicas en el área de estudio, donde interactúan procesos redox, tiempos de residencia variables y mecanismos de interacción agua-roca en función de la profundidad y la ubicación geográfica.

V. 2. 3 Concentraciones de sodio y cloro y clasificación de Sulin (1946)

El análisis de los datos disponibles indica que la relación sodio / cloro en la Cuenca Maracaibo Falcón varía de 0,16 a 76 por lo que siguiendo la clasificación de Sulin (1946): 173 muestras corresponden a agua meteórica (valores de Na^+ superiores a Cl^-), de las cuales 122 muestras de agua pueden ser clasificadas como aguas bicarbonatadas sódicas y 16 son muestras de agua sulfatadas sódicas. Existen también 76 muestras de agua connata (valores de Cl^- superiores a Na^+), en las cuales 40 análisis fisicoquímicos se clasificaron como aguas cloruradas cálcicas y 35 muestras de agua como cloruradas magnésicas. Se identificaron muestras con relaciones Na^+/Cl^- meteóricas superiores a 60 relacionadas con el aporte de sodio desde otras fuentes como unida

con bicarbonato. Las principales características se describen por intervalos de profundidad a las que se encuentran y se observan en la Figura 63:

- En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) (color azul claro) las muestras de aguas connatas fueron tomadas en la UDVII y UDVIII mayoritaria y posiblemente se puedan asociar a la influencia del aerosol marino (Calvo Gordaliza *et al*., 2009).

- En el intervalo de profundidad de 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros) (color azul oscuro) son mayoritarias las muestras de aguas meteóricas, aquellas con concentraciones de Cl^- y Na^+ inferiores a la unidad se encuentran en la Cuenca de Maracaibo y el rango de las concentraciones corresponden a las esperadas en agua de mar ~0,86.

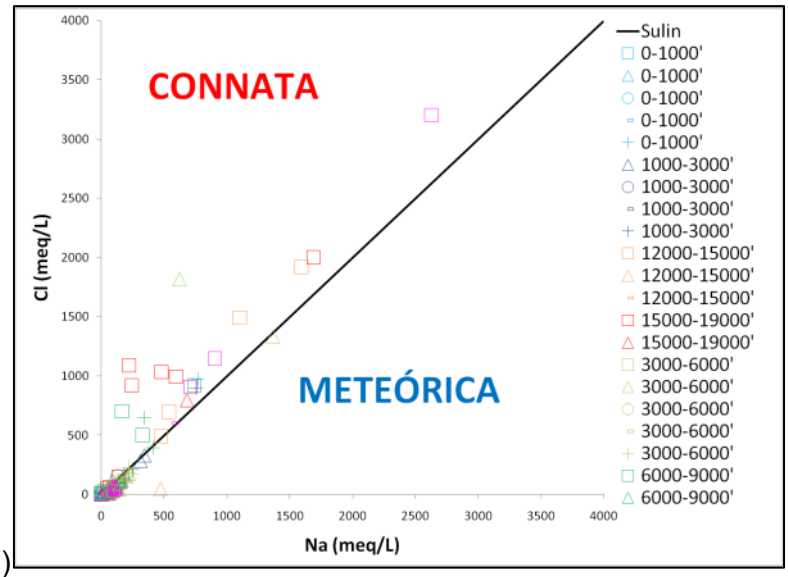
- En el intervalo de profundidad de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) (color verde claro) son nuevamente mayoritarias las muestras de aguas meteóricas, las muestras de aguas connatas fueron tomadas en la UDIV y UDVIII. En particular la muestra M-59 tiene una relación ~ 0,4 indicando una baja interacción entre los iones.

- En el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros) (color verde oscuro), 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros) (color naranja) y 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros) (color rojo) las muestras de aguas connatas son más comunes y fueron tomadas mayoritariamente en la UDII.

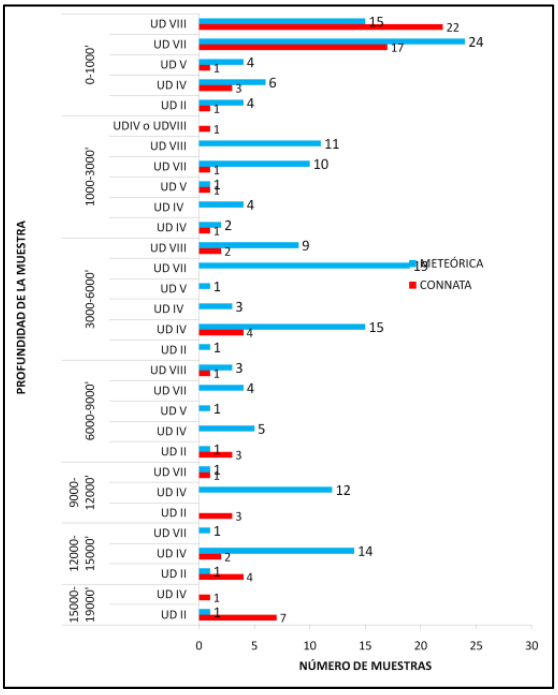
- En el intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros) (color fucsia) las muestras de aguas connatas fueron tomadas en la UDII. Las muestras de aguas meteóricas fueron tomadas en la UDIV y son mayoritarias en el intervalo.

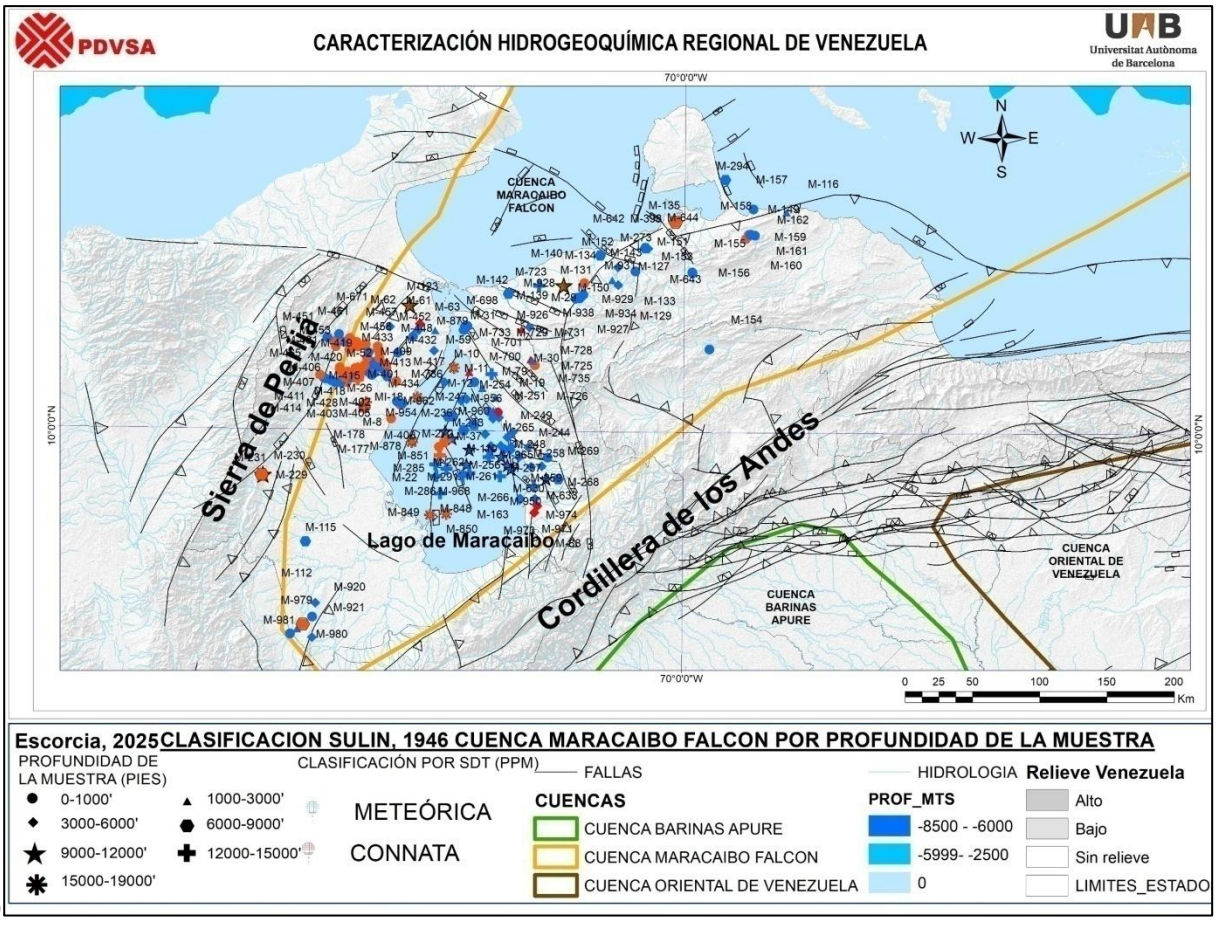
Es importante recordar que la clasificación de Sulin (1946) considera las concentraciones en miliequivalentes de los iones sodio y cloro, por lo cual en las muestras donde los iones dejan de ser predominantes, la agrupación no es coherente con el tipo de agua.

a)


CONNATA
METEÓRICA
Cl (meq/L)
Na (meq/L)
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
Sulin
0-1000'
1000-3000'
12000-15000'
15000-19000'
3000-6000'
6000-9000'

b)


PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA
NÚMERO DE MUESTRAS
METEÓRICA
CONNATA
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
UD VIII
UD VII
UD V
UD IV
UD II
UDIV o UDVIII
0
5
10
15
20
25
30



c)

Figura 63. Grupos identificados a partir de la concentración de sodio y cloro de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946). (a) Gráfico de correlación Na^+/Cl^- que diferencia aguas connatas de meteóricas. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. (b) Gráfico de barras del número de muestras connatas y meteóricas por la localización de las muestras de agua con datos hidrogeoquímicos y por Unidad Depositacional. En color rojo las aguas connatas y en color azul las aguas meteóricas, donde el aporte de sodio desde otras fuentes aumenta el valor de la relación y (c) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras y en relación con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Maracaibo Falcón. La forma de los símbolos indica el intervalo de profundidad a la cual fue tomada la muestra.

V. 2. 4 Diagramas de elementos mayoritarios y la clasificación de Schoeller (1977)

La clasificación hidrogeoquímica de muestras de agua, basada en su ubicación geográfica, intervalo de profundidad y concentraciones iónicas (en meq/L) de los principales cationes y aniones permite organizar los datos en ocho grupos (Figura 64): La elevada movilidad del ion sodio explica su predominancia, reflejada en la composición de la mayoría de las muestras. La tipología resultante en orden de concentración del ion mayoritario es la siguiente: aguas cloruradas sódicas (126 muestras), aguas bicarbonatadas sódicas (98 muestras), aguas sulfato-sódicas (2 muestras), aguas bicarbonatadas cálcicas (12 muestras), aguas cloruradas cálcicas (5 muestras), aguas bicarbonatadas magnésicas (3 muestras), aguas cloruradas magnésicas (1 muestras) y aguas

sulfato-magnésicas (2 muestras). Con base en la profundidad, la Unidad Depositacional asociada y la clasificación de Schoeller (1977) se pudieran sugerir las siguientes correlaciones:

- Existen muestras cloruradas sódicas en todos los intervalos de muestreo desde 0 a 19.000 pies (~0 a 6.500 metros), en altas profundidades se podría relacionar con aguas connatas y en las muestras en intervalos superiores se pueden asociar a la presencia de aerosol marino (Calvo Gordaliza *et al*., 2009).

- Las muestras cloruradas cálcicas son características de las muestras tomadas en reservorios de la UD II y UD IV por lo que es posible el intercambio iónico con minerales como calcita o yeso.

- Sólo una de las muestras es clorurada magnésica, se encuentra en los reservorios de la UDVII para las profundidades de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) pudiera estar relacionadas con un intercambio iónico con minerales como dolomita.

- Existen muestras bicarbonatadas sódicas en todos los intervalos de muestreo desde 0 a 15.000 pies (~0 a 5.000 metros). Se sugiere la presencia de aguas meteóricas en los intervalos superiores y/o la interacción con rocas bicarbonatadas para los reservorios más profundos.

- En el intervalo de profundidad de 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros) coexisten muestras de agua cloruradas sódicas y bicarbonatadas sódicas, pudiendo generar aguas de mezcla.

- Las muestras bicarbonatadas cálcicas se restringen al intervalo de profundidad 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), tomadas en reservorios de varias unidades depositacionales. Este tipo de composición suele estar relacionada con la disolución de minerales con alto Kps a 25°C como calcita (Tabla 2).

- Las muestras bicarbonatadas magnésicas son muy locales con relación a los reservorios disponibles y las profundidades en las cuales se encuentra, con lo cual sugiere interacción con rocas carbonatadas. Las muestras tomadas en la UDII están presentes en el intervalo de profundidad 12.000-15.000 pies. Las muestras tomadas en la UDIV están presentes para el intervalo de profundidad 9.000-12.000 pies y las muestras tomadas en la UD VIII están presentes para las muestras desde 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros).

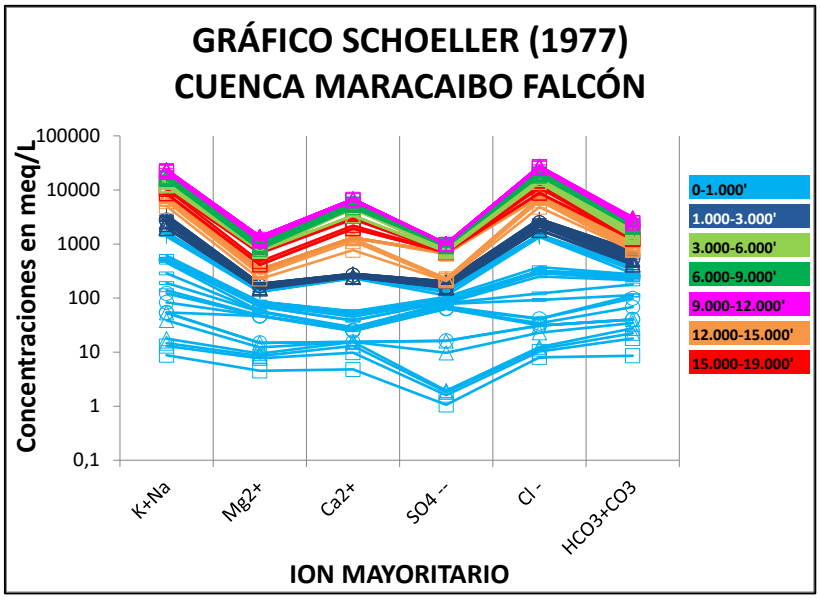
- La presencia de aguas sulfatadas se restringe a los reservorios someros de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) para los reservorios de la UD V y en el caso de muestras en el intervalo de profundidad de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros) en los reservorios de la UDIV para

aguas sulfatos sódicas. Pudiendo dar indicios de actividad de intercambio iónico con los minerales en el medio. El contenido en aguas superiores se puede relacionar con el aporte desde el agua de mar, considerando la cercanía geográfica de las muestras al Lago de Maracaibo y el Mar Caribe.

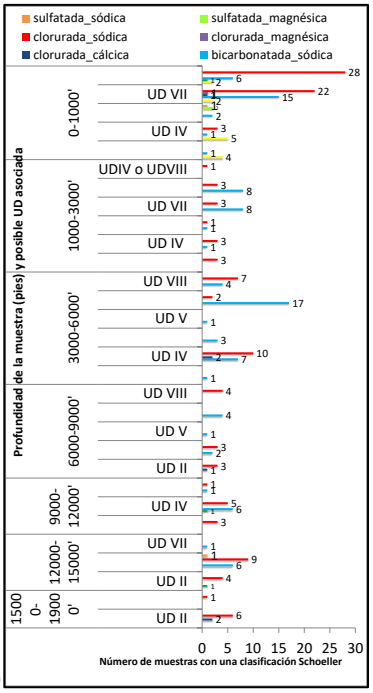
- La mayor diversidad en la composición de las aguas se encuentra en el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) lo cual puede estar relacionado con la presencia de aguas meteóricas y la cercanía al agua de mar. Se observan tres grupos de muestras: muestras enriquecidas en sulfatos y cloruros, muestras que mantienen el contenido de sulfatos pero que disminuye la proporción de cloruros y un tercer grupo con baja concentración de sulfatos y alta concentración de bicarbonatos.

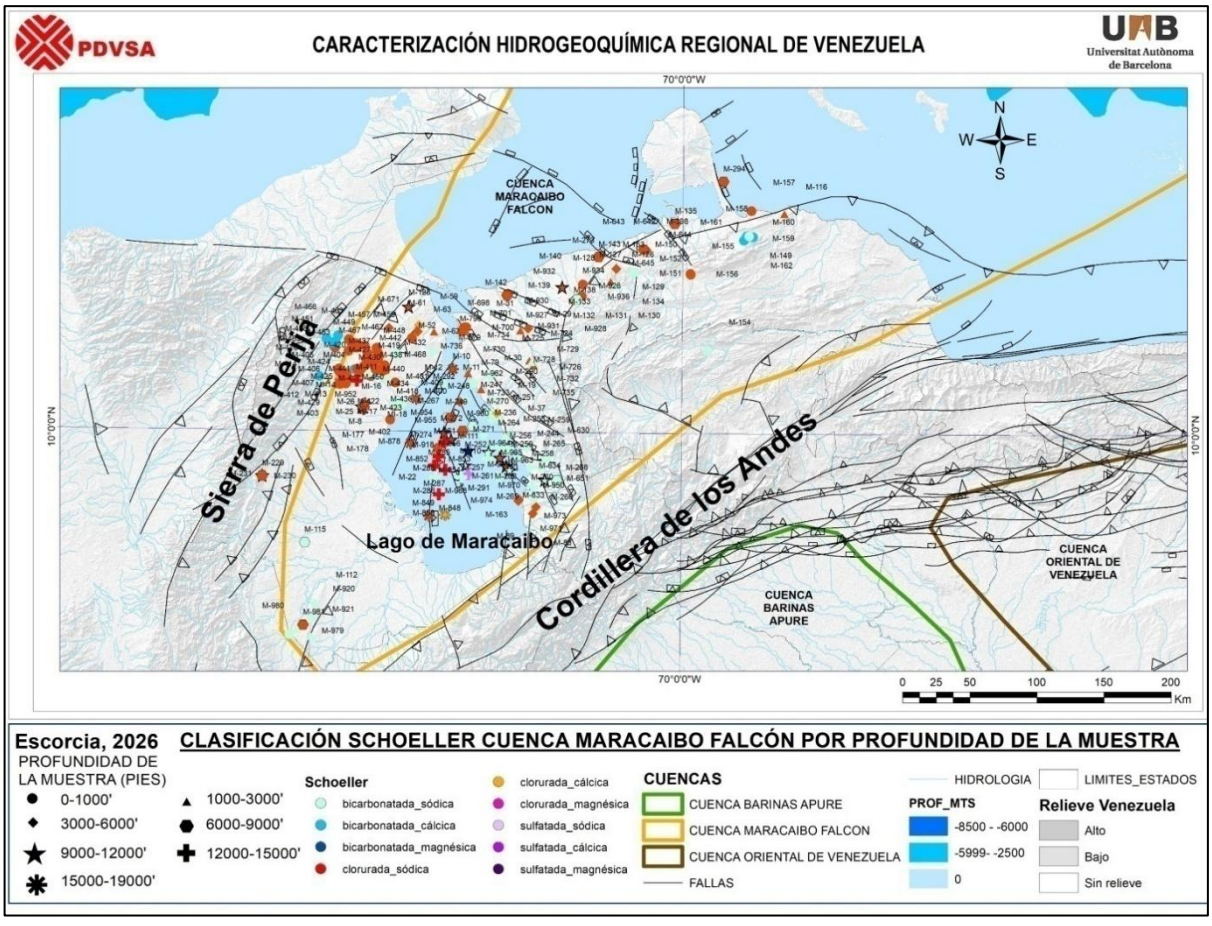
- Las muestras van aumentando la concentración de sólidos disueltos totales en relación con la profundidad de la muestra, independiente de los iones mayoritarios.

(a)



(b)





(c)

Figura 64. Caracterización de las muestras de agua en la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con Schoeller (1977): (a) Grupos identificados de acuerdo con la clasificación de Schoeller (1977) en al menos una muestra por campo petrolífero de la Cuenca Maracaibo Falcón. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. (b) Gráfico de barras con la frecuencia de cada tipo de patrón por rango de profundidad y UD. Patrones en relación con sus iones mayoritarios: sulfatada sódica (naranja), bicarbonatada magnésica (verde), bicarbonatada sódica (azul claro) y clorurada sódica para la cuenca petrolífera Maracaibo Falcón. (c) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras con relación a la clasificación de Schoeller (1977) y con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Maracaibo Falcón. La forma de los símbolos indica el intervalo de profundidad a la cual fue tomada la muestra.

V. 2. 5 Clasificación de diagrama múltiple triangular de Piper (1944)

De acuerdo con la clasificación de Piper (1944), las muestras de la Cuenca Maracaibo Falcón se distribuyen en cuatro rombos del diagrama múltiple triangular. La mayoría de las muestras se agrupan en el sector de aguas clorurado-sódicas, lo que sugiere la presencia de aguas connatas de largo tiempo de residencia. En segundo lugar, abundan las aguas bicarbonatadas sódicas y bicarbonatadas potásicas, posiblemente resultado de procesos de mezclas de aguas (Figura 65):

- En la región de aguas cloruradas sódicas/potásicas y sulfato-sódicas se identificaron 136 muestras diferenciables en dos subgrupos según la profundidad y con la concentración de los iones sulfato y cloruro. Las muestras enriquecidas en sulfato con relación a cloruro se

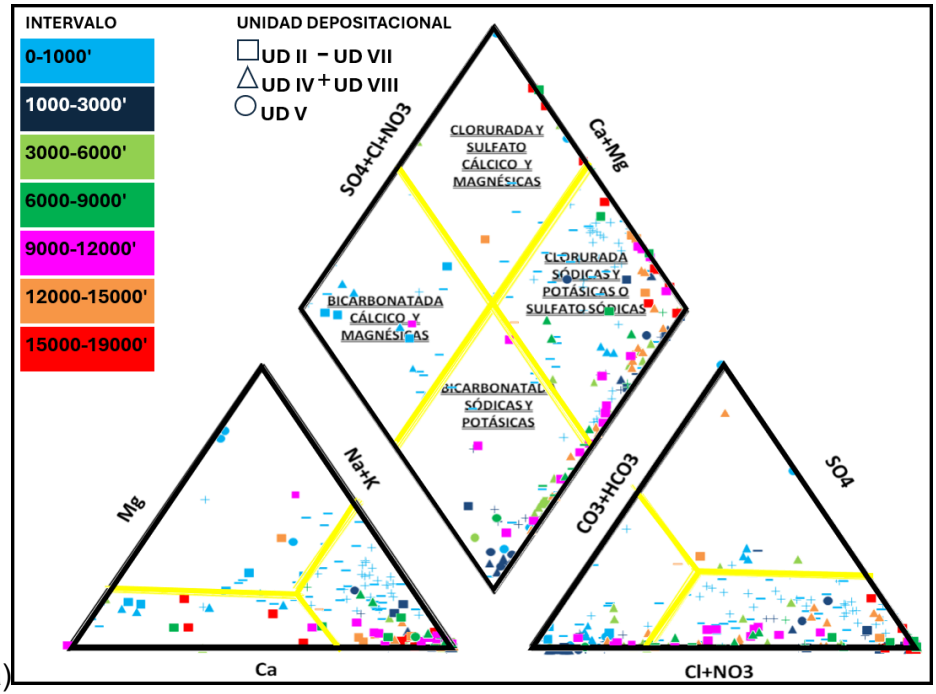
distribuyen en tres intervalos de profundidad: Las de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) posiblemente relacionadas con la mezcla de aerosol marino, las de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros), exclusivas de la Cuenca de Falcón, posiblemente relacionadas con la interacción roca-fluido (Tabla 10); y las de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros) restringida a la Cuenca de Maracaibo y vinculadas con la interacción roca fluido o influencia de materia orgánica (muestra M-291, (Angulo, Estrategia analítica para la determinación de la edad de las aguas asociadas a los hidrocarburos en las áreas de Moporo, Franquera y La Ceiba, 2016)). Por otra parte, las muestras enriquecidas en cloruros con relación a sulfato muestran una marcada tendencia areal y vertical: en 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) predominan en el Río El Palmar (Vegas Rodríguez, 2016) y Cuenca de Falcón; entre 1.000 a 6.000 pies (~300 a 2.000 metros) no se asocia con muestras de la UDII; y por encima de 6.000 pies (~2.000 metros) la concentración de cloruro es alta, sugiriendo posible presencia de aguas connatas.

- En la región de aguas bicarbonatadas sódicas y bicarbonatadas potásicas se identificaron 75 muestras, de las cuales sólo una corresponde a los reservorios de la UDII, específicamente en el intervalo de profundidad de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros). Este tipo de composición suele asociarse a la influencia de aguas meteóricas, ya sea por la interacción del CO_2 atmosférico con agua de lluvia o por procesos de intercambio roca-fluido que incorporan iones al medio (Tabla 10). Los reservorios de la UDIV presentan estas características en un amplio rango de profundidad (1.000 a 15.000 pies o ~300 a 5.000 metros), mientras que en la UDV se limitan al intervalo de profundidad de 0 a 9.000 pies (~0 a 3.000 metros). Por su parte, las muestras de la UDVIII con esta composición se restringen exclusivamente a la Cuenca de Falcón. Finalmente, en el intervalo superficial (0-1.000 pies o ~0 a 300 metros) las muestras con esta firma hidroquímica fueron recolectadas en el Río El Palmar.

- En la región de aguas bicarbonatadas cálcicas y magnésicas se encuentran 20 muestras,19 de ellas en el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) donde se pueden relacionar con un proceso de mezcla con aguas meteóricas, ubicadas geográficamente en el Río El Palmar y en la Cuenca de Falcón, y una muestra en el rango de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros) que podría relacionarse con un intercambio roca-fluido (Tabla 10). Las muestras con estas características de las formaciones equivalentes a la UDIV pertenecen a la Cuenca de Falcón, mientras que en la Cuenca de Maracaibo las muestras son de reservorios de la UDII, UDVII y UDVIII.

- Finalmente, en la región de aguas cloruradas y sulfato cálcicas y magnésicas se encuentran 17 muestras tomadas en los intervalos de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) (mayoritariamente), de 3.000 a 9.000 pies (~1.000 a 3.000 metros), y de 12.000 a 19.000 pies

(~4.000 a 6.500 metros) que pudieran ser características de oxidación de sulfuros, contaminación minera o actividad bacteriana.



(a)

(b)

Figura 65. Caracterización de las muestras de agua en la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con Piper (1944): (a) Grupos identificados para las muestras de agua de las Cuenca Maracaibo Falcón, distribuidas en los cuatro rombos de la clasificación de Piper (1944): clorurada sódica y potásica o sulfato sódicas; bicarbonatadas sódicas y potásicas, cloruradas y sulfato cálcicas y magnésicas, y bicarbonatadas cálcico y magnésicas. Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. (b) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras y con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Maracaibo Falcón.

V. 2. 6 Patrones en las muestras de agua y la clasificación de Stiff (1951)

El análisis realizado indica que las aguas de la Cuenca Maracaibo Falcón siguen 9 patrones o grupos. El mayor porcentaje de las muestras fue categorizado como aguas cloruradas sódicas o forma de embudo, que suelen ser características de aguas con alto tiempo de residencia con composiciones posiblemente asociadas al agua de mar. También se identifica una interesante cantidad de aguas sulfatadas en relación con el total de muestras (Figura 66):

- Aguas bicarbonatadas cálcicas, con un patrón de punta de flecha, identificado en 13 muestras tomadas en el rango de profundidad desde 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), que suelen estar asociadas a subterráneas con intercambio iónico en la interacción y disolución de rocas carbonáticas como calizas, con tiempos bajos a medios de residencia, en relación con la concentración de las muestras.

- Aguas bicarbonatadas magnésicas, sin un patrón preestablecido, identificado en 3 muestras tomadas en 3 profundidades específicas: 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) (M-728, tomada en la UDVII), 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros) (M-111, tomada en la UDIV) y de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros) (M-723, tomada en la UDII). Estas muestras pudieran estar reflejando un proceso hidrogeoquímico aislado.

- Aguas bicarbonatadas sódicas, con un patrón de visto bueno, identificado en 97 muestras tomadas en el rango de profundidad desde 0 a 15.000 pies (~0 a 5.000 metros), que suelen estar asociadas a aguas de intercambio iónico con bajas concentraciones.

- Aguas cloruradas cálcicas identificada en 6 muestras: M-400 en formaciones equivalentes a la UDVII en el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros); M-289 y M-59 en formaciones equivalentes a la UDIV en el intervalo de profundidad de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) y M-11, M-850 y M-229 en las formaciones equivalentes a la UDII en los intervalos de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros) y de 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros). Estas muestras pudieran estar reflejando un proceso hidrogeoquímico aislado, todas ellas muestras salinas o salmueras de acuerdo con (Hem, 1970).

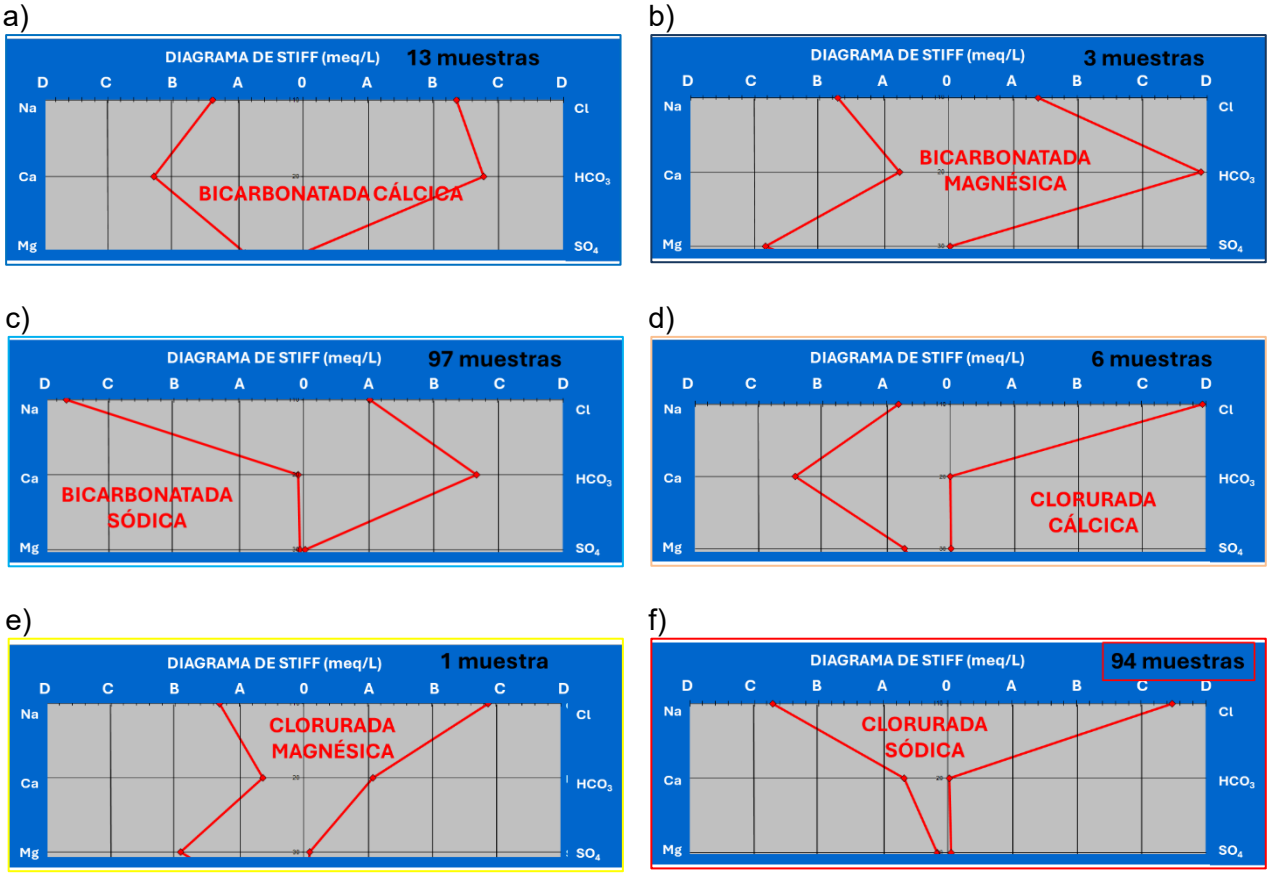
- Agua clorurada magnésica identificada en una muestra M-429 tomada en formaciones equivalentes a la UDVII en el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros).

- Aguas cloruradas sódicas, con un patrón de embudo, identificado en 94 muestras, tomadas en el rango de profundidad desde 0 a 19.000 pies (~0 a 6.500 metros) características de aguas connatas o de formación.

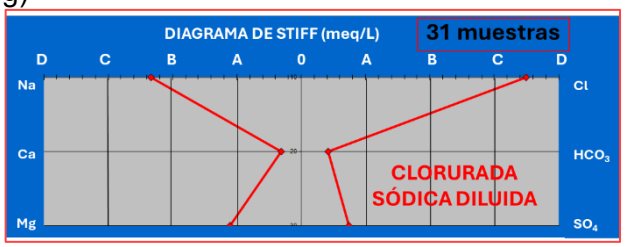
- Aguas cloruradas sódicas diluida, con un patrón de embudo y bajas concentraciones de iones mayoritarios, identificado en 31 muestras, tomadas en un rango de profundidad de 0 a 6.000 pies (0 a 1.000 pies o ~0 a 300 metros, mayoritariamente, en UDVII y UDVIII).

- Aguas sulfatadas magnésicas identificada en 2 muestras ubicadas entre 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), tomadas en las cercanías de una mina de carbón que pudieran estar asociadas a la disolución de minerales sulfatados o como producto de la oxidación de pirita.

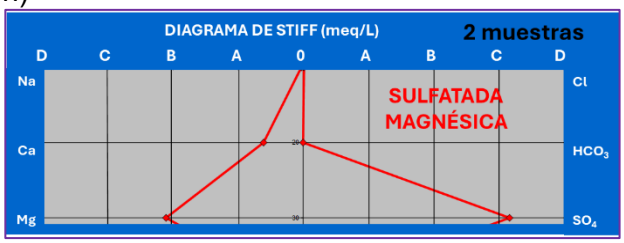
- Aguas sulfatadas sódicas identificado en 2 muestras M-399 tomada de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) en la Formación Carbonera y la muestra M-291 ubicadas entre 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros) en la Formación Misoa, que pudieran estar asociadas a la disolución de minerales como yeso, producto de la oxidación de pirita o asociada a los crudos en el área.

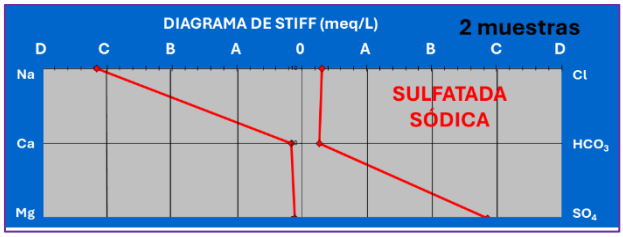


g)

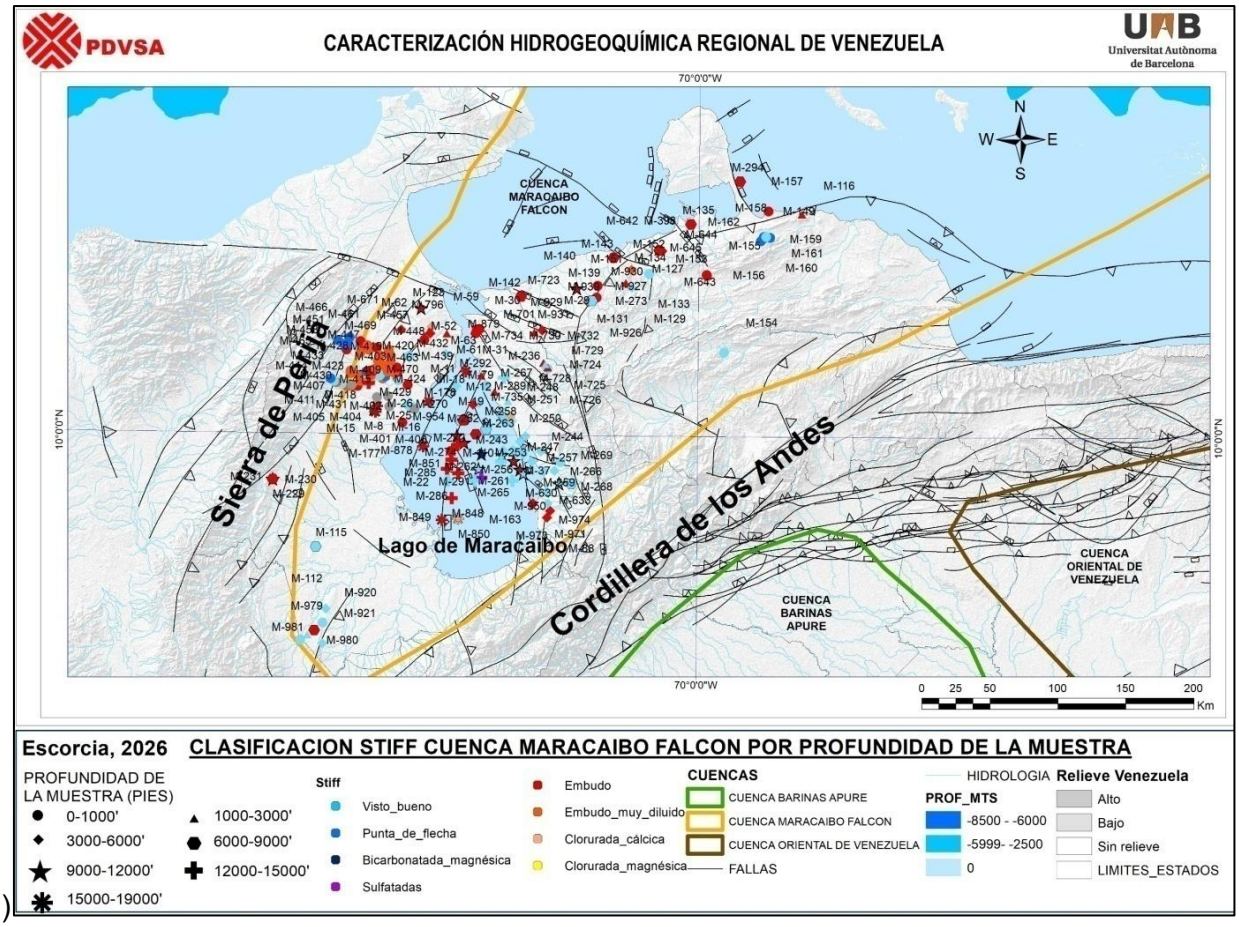


h)





i)



j)

Figura 66. Caracterización de las muestras de agua en la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con Stiff (1951): Grupos identificados de acuerdo en el orden de aparición:(a) Aguas bicarbonatadas cálcicas, (b) aguas bicarbonatadas magnésicas, (c) aguas bicarbonatadas sódicas (patrón de visto bueno), (d) aguas cloruradas cálcicas, (e) agua clorurada magnésica, (f) aguas cloruradas sódicas (patrón de embudo), (g) aguas cloruradas sódicas diluida, (h) aguas sulfatadas magnésicas y (i) aguas sulfatadas sódicas. (j) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras con relación con redes hidrográficas y elementos estructurales de la CMF. La forma de los símbolos indica el intervalo de profundidad a la cual fue tomada la muestra.

V. 2. 7 Análisis isotópicos

Las 15 muestras con datos de isótopos disponibles en la Cuenca de Maracaibo (Figura 67), tienen valores de isótopos de carbono, oxígeno e hidrógeno ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$ y $\delta^{2}H$), analizados con referencia al indicador de Vienna (VSMOW) en un intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) (UDVII) y de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) (UDIV). El marco del análisis de datos isotópicos parte de las líneas contexto generadas en la III. 1. Creación de la base de datos: línea meteórica mundial (GLMM), línea meteórica local (LLMM), línea de mezcla entre agua de mar y agua de lluvia (Mezcla) y la línea de evaporación local (LEV). Adicionalmente, se comentan los parámetros que pudieran condicionarlos valores isotópicos, como la proximidad al Lago de Maracaibo y al Mar Caribe:

- La temperatura a la cual se evaporó el agua de mar y, aún más, de la temperatura a la cual condensó la lluvia es aproximadamente la misma, por lo cual no se considera la temperatura un factor influyente en el fraccionamiento isotópico de las muestras. Esto es principalmente cierto por la ubicación trópico-ecuatorial de las muestras.

- La Cuenca de Maracaibo tiene elementos topográficos importantes, como la cordillera de los Andes al sureste y la Sierra de Perijá al oeste; sin embargo, no es el lugar donde se encuentran las muestras. Las variaciones de relieve en las zonas muestreadas no son mayores a 200 metros, por lo tanto, no se considera que exista un efecto altitudinal en las muestras.

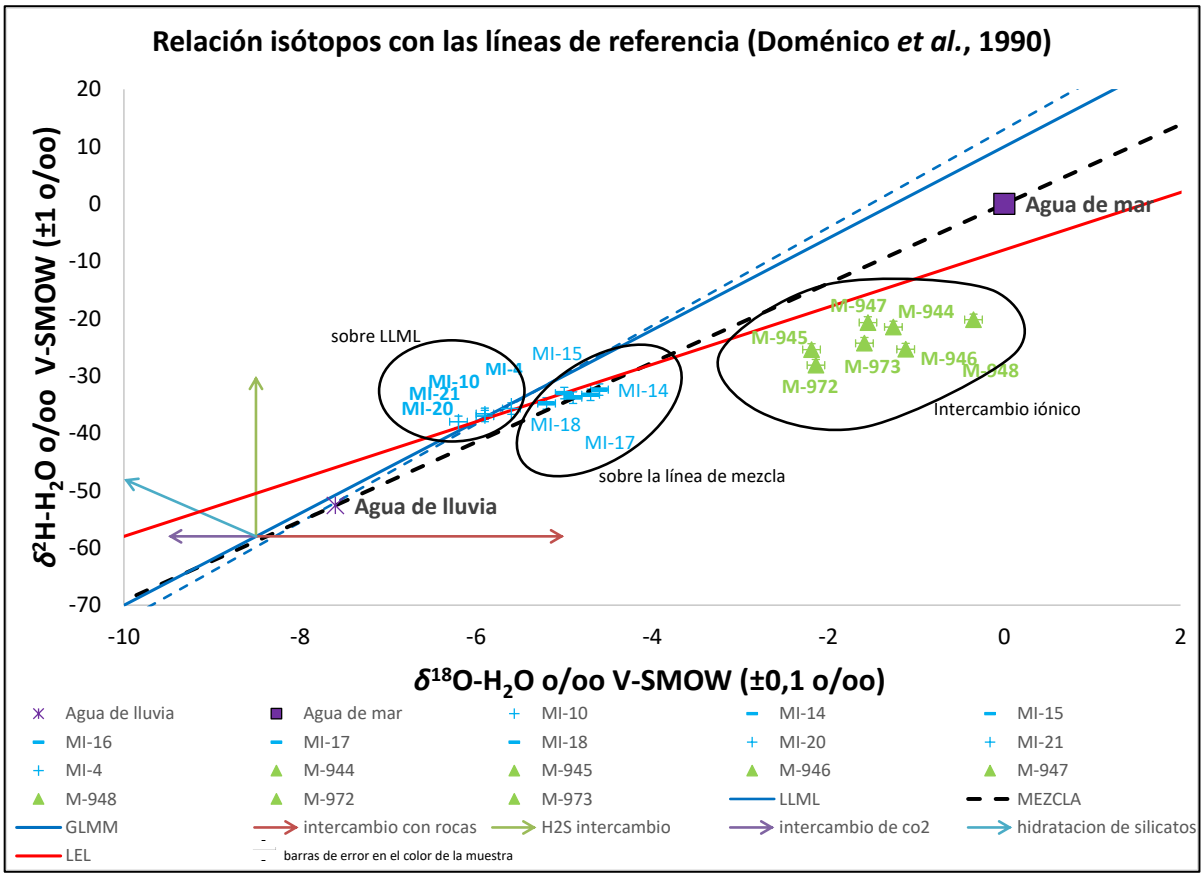
- Las muestras de la cuenca se encuentran a una distancia entre ellas entre 2 Km, 60 Km (más común) y ~150 Km, cercana al Lago de Maracaibo y el Mar Caribe, por lo que no se consideran efectos latitudinales, continentales ni estacionales.

- La fecha de las muestras no tiene información del mes en el cual se tomaron para correlacionarlo con las épocas de sequía y de lluvia. Por lo tanto, no se descarta el efecto de cantidad, pero no se estima significativo.

En la Figura 67 se muestran los datos isotópicos de la Cuenca de Maracaibo, con las barras de error analítico. Se observan 3 grupos de datos, indicadores de la proveniencia de aguas con más detalle en Figura 67b. Las muestras MI-10, MI-20 y MI-21, tomadas en el Río Orinoco, coinciden con la línea meteórica local (LML) en su parte baja, indicando la proveniencia desde zonas altas, como la Cordillera de los Andes. Las muestras MI-14, MI-15, MI-17, M-16 y MI-18, tomadas en las cercanías del Lago de Maracaibo de pozos someros, coinciden con la línea de mezcla entre agua de mar y agua de lluvia. Las muestras M-944 a M-948, M-972 y M-973, tomadas a profundidades de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros), en formaciones equivalentes a la UDIV, donde la signatura isotópica del oxígeno se enriquece en relación con el estándar, pueden ser consideradas

como aguas de intensa interacción con rocas, a temperaturas altas (100 a 150°C). (Angulo, 2016) menciona la presencia de hidrocarburos en el área. Esto encajaría con la caracterización geoquímica de la muestra M-973, que es de un agua salobre clorurada sódica con un aporte de sodio de otras fuentes de acuerdo con la caracterización de elementos mayoritarios y con interpretación de posibles ambientes reductores a partir de la concentración de hierro.

a)



b)

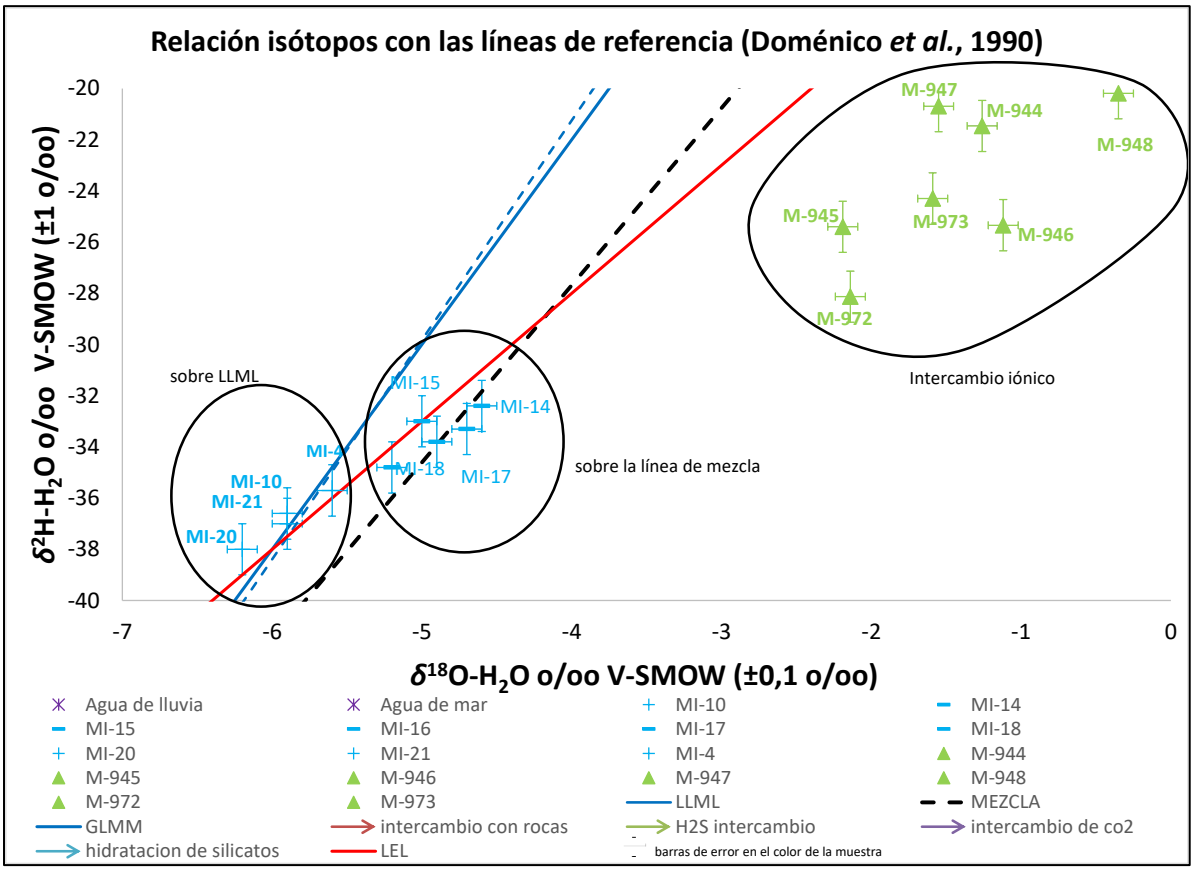


Figura 67. Gráficos de dispersión de δ^{18}O en relación con δ^2H. a) con una escala de +2‰ δ^{18}O y +20‰ δ^2H y b) con una escala de 0‰ δ^{18}O y -20‰ δ^2H. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. Las líneas en cruz que acompañan a los símbolos son indicativas del rango de error analítico de la muestra.

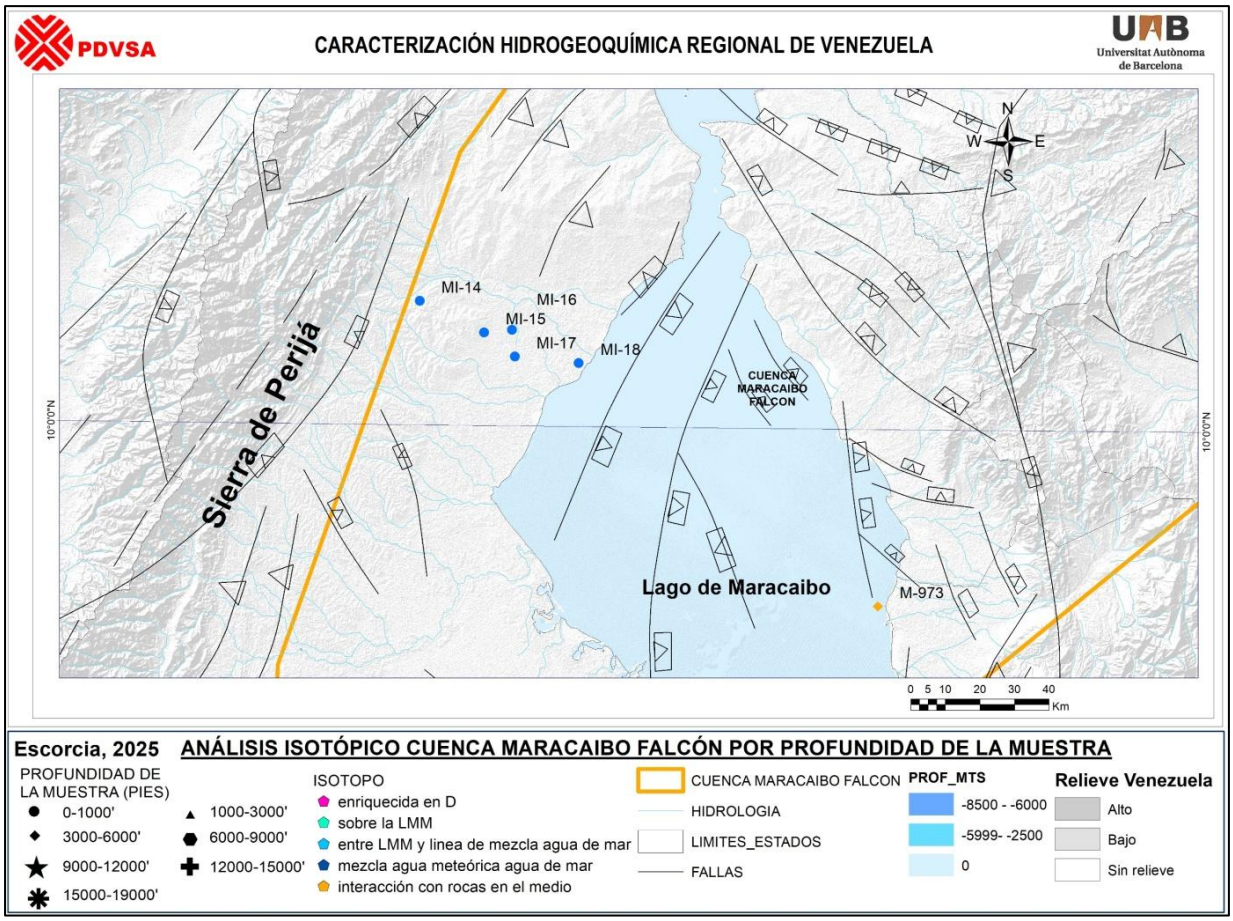


Figura 68. Mapa con la ubicación geográfica de las muestras con dato isotópico en relación con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la CMF. La forma de los símbolos indica el intervalo de profundidad a la cual fue tomada la muestra.

En la relación de bicarbonato respecto a la signatura isotópica de oxígeno, (Domenico & Schwartz, 1990) considera que se podrían observar procesos de precipitación de carbonatos a baja temperatura. Sólo uno de los datos M-973 tiene dato de la concentración de HCO_3^- (ppm) y se encuentra empobrecida en el isótopo pesado $\delta^{18}O$, con cerca de 1.000 ppm de bicarbonato, indica un posible origen de agua reciente.

V. 3. Cuenca Oriental de Venezuela

La Cuenca Oriental de Venezuela tiene un registro sedimentario con edades de depositación desde la era del Paleozoico hasta el Cenozoico. Las 527 muestras disponibles para esta investigación, con un balance iónico con error inferior al 10% (Hem, 1970) se encuentran ubicadas en profundidades desde la superficie hasta 18.000 pies (0 a 6.000 metros aproximadamente). Los depósitos sedimentarios pertenecen a formaciones geológicas equivalentes a las unidades depositacionales UDII, UDIV y UDVIII, con edades de depositación desde el periodo Cretácico al presente (Figura 69).

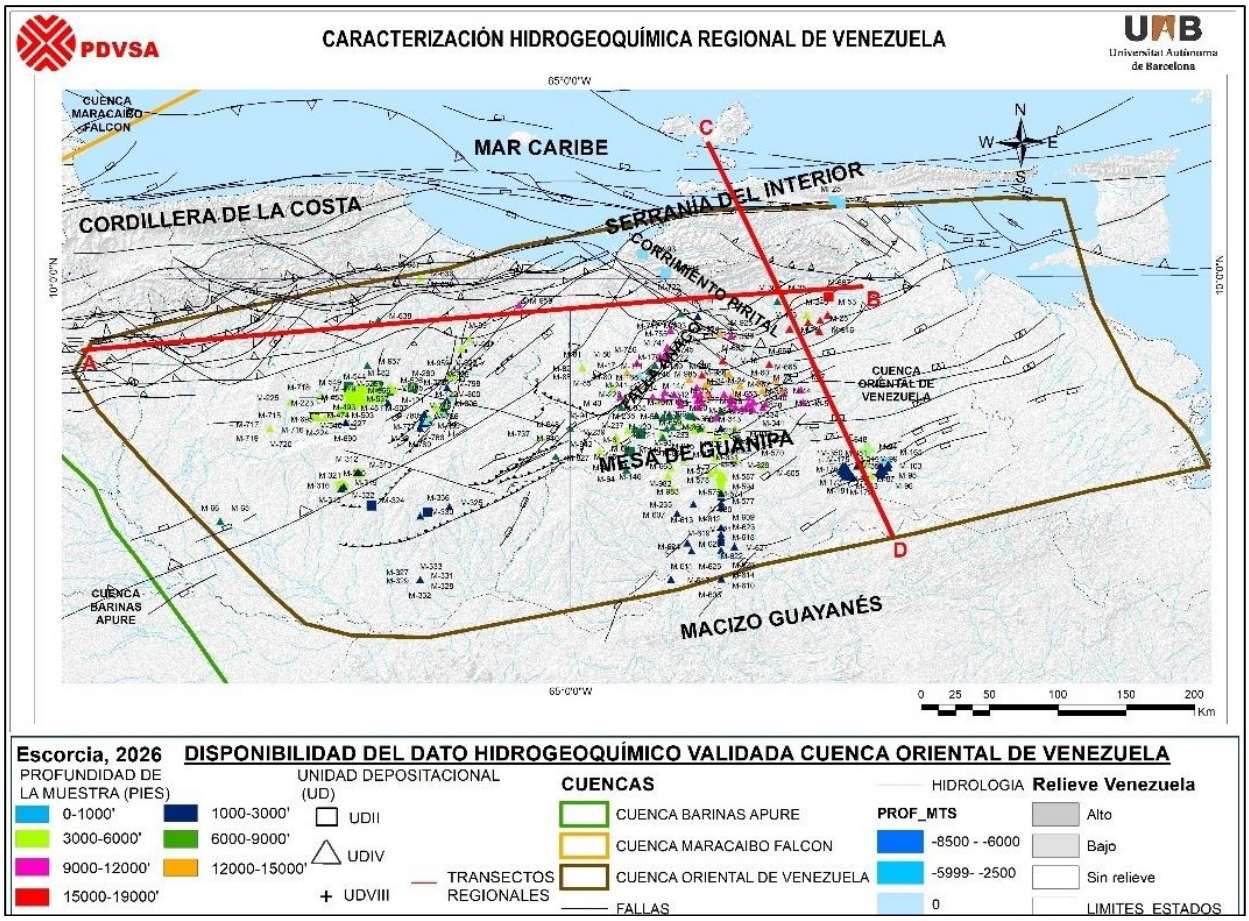


Figura 69. Mapa de localización de datos hidrogeoquímicos validados de la Cuenca Oriental con los principales elementos estructurales e hidrogeografía regional. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

La Cuenca Oriental de Venezuela tiene una serie de elementos topográficos que condicionan el movimiento de los fluidos en los sedimentos. En primer lugar, presenta sistemas montañosos al norte, conocidos como la Cordillera de la Costa y Serranía del Interior Oriental, con alturas de más de 3.000 metros sobre el nivel del mar, en los cuales se genera gran parte de los ríos y escorrentías de la zona. En segundo lugar, al sur se ubica el macizo guayanés, con alturas de hasta 2500 metros y aporte de sedimentos con una alta madurez química. En tercer lugar, posee dos de los elementos hidrológicos importantes: el principal rio de Venezuela, el Río Orinoco, y la mesa de Guanipa, una extensión hacia el área central de la Cuenca Oriental, donde los sedimentos no consolidados permiten el incremento de la columna de agua almacenada en el subsuelo. Para una mejor comprensión de los procesos hidrogeoquímicos que pueden estar ocurriendo, la Tabla 24 resume los posibles iones que se pudieran estar liberando en la interacción roca agua, a partir de las litologías que componen las rocas de cada Unidad Depositacional.

Tabla 24. Identificación de los iones mayoritarios que se pueden aportar en el intercambio iónico entre roca y agua en la Cuenca Oriental (++): debe aportar presencia en el medio (+): posiblemente aporta presencia al medio y (-): no aporta presencia al medio.

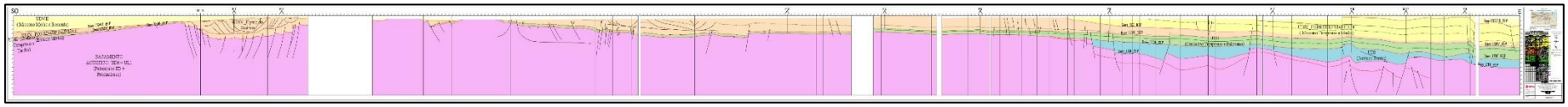
Formación	Miembro	Litología	Iones que puede aportar al medio							UD
			Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^- $+CO_3^{2-}$	
San Juan		Areniscas localmente calcáreas intercaladas con lutitas negras	(+)	(++)	(++)	(++)	(-)	(-)	(++)	UDII
Tigre		Areniscas caoliníticas lutita negra carbonosa y fosilífera, caliza fosilífera gris	(+)	(++)	(++)	(++)	(+)	(-)	(++)	
Carapita	Otros	Lutitas negras oscuras con láminas de areniscas turbidítico	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(++)	UDIV
	Capaya									
Chaguaramas		Areniscas, lutitas y lignitos locales conglomerados	(+)	(++)	(+)	(+)	(+)	(-)	(++)	
La Pascua		Areniscas y lutitas oscuras (lignitos)	(+)	(++)	(+)	(+)	(+)	(-)	(++)	
Merecure		Areniscas incluso conglomeráticas lutitas carbonáceas	(+)	(++)	(+)	(+)	(-)	(-)	(++)	
Naricual		Lutitas (caolinita) carbonosas areniscas (cuarzo, fragmentos líticos y calcita) y cemento (pirita, siderita)	(+)	(+)	(++)	(++)	(++)	(-)	(++)	
Oficina	Otros	Lutitas grises con areniscas y limolitas con capas lignitos arcilitas verdes	(+)	(++)	(+)	(+)	(+)	(-)	(++)	
	Morichal	Areniscas masivas intercalación de lutitas y areniscas	(+)	(++)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	
Roblecito		Arcillas moteadas rojo glauconíticas y micro fosilíferas	(+)	(+)	(++)	(++)	(-)	(-)	(++)	
Las Piedras		Areniscas micáceas	(+)	(++)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	UDVIII
Paria		Lutitas	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	
Freites		Lutitas marinas con tonalidades verdosas	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	
La Pica		Areniscas, laminadas, ocasionalmente limosas, arcillosas o ligníticas	(+)	(++)	(+)	(+)	(+)	(-)	(++)	

Aunque las litologías presentes en el área no indican rocas ígneas (Tabla 24); en la Figura 70 se distingue la presencia al norte de la Placa Caribe compuesta por materiales de arco oceánico (Ostos *et al*., 2005 y Schmitz *et al*., 2014) y al sur el complejo ígneo-metamórfico Imataca, este último de composición mayoritariamente félsica (Carrera Figueroa *et al*., 2011).

Desde el punto de vista estructural existen fallas normales e inversas de alto buzamiento con desarrollos de cuencas *Foredeeps* y tipo Flysch y donde existe una erosión importante al noreste que someriza muchas de los depósitos profundos. Los estudios previos como (Singer *et al*., 1997)

simplificaron la configuración sedimentaria como se observa en la Figura 70 con los principales elementos estructurales y sedimentarios de la Cuenca Oriental de Venezuela.

a)



b)

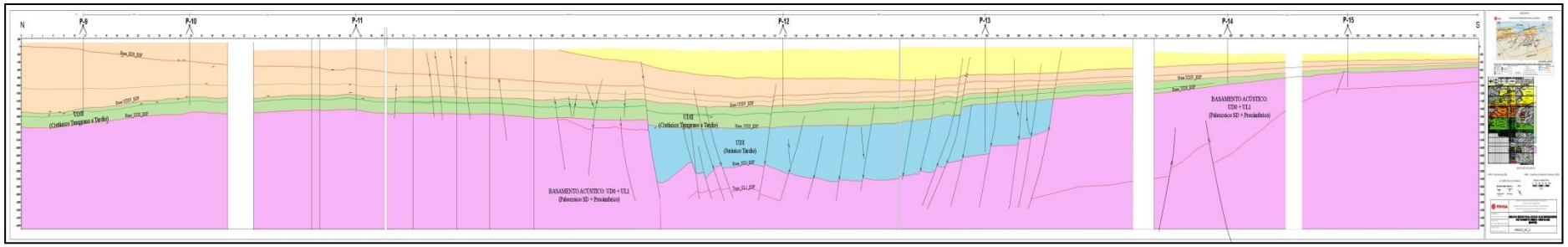


Figura 70. Transectos en dirección OE y NS de la Cuenca Oriental de Venezuela para visualizar las profundidades y sedimentos afectados por los elementos estructurales del área; así como las direcciones preferenciales de migración de los fluidos meteóricos. Configuración estructural de la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías" (a) Transecto oeste-este; (b) noroeste-sureste (modificados de Parra *et al*., 2018)

V. 3. 1 Sólidos disueltos totales y clasificación de Hem (1970)

En base a la cantidad de sólidos disueltos (SDT), en un rango desde 9 a 359.000 mg/L, las muestras de agua de la Cuenca Oriental se consideran aguas dulces (41 muestras), aguas salobres (168 muestras), aguas salinas (249 muestras) y salmueras (69 muestras) de acuerdo con Hem (1970). Las diferencias se podrían relacionar con los iones en el medio que aporta la litología presente (Figura 71, Tabla 24). Los puntos que cabe resaltar se explican a continuación.

- La distribución del contenido de sólidos disueltos totales de acuerdo con la clasificación de (Hem, 1970) no se restringe a un rango de profundidad o a una unidad depositacional en específico. Sino que varía la proporción de una categoría a otra.

- Las muestras con bajo contenido de SDT, clasificadas como dulces (rectángulo de borde rosado en la Figura 71a), se concentran principalmente en el intervalo superficial (0-1.000 pies, banda superior de color azul claro en la Figura 71a), lo cual coincide con el proceso de mezcla o de intercambio iónico típico de aguas meteóricas. Estas muestras superficiales corresponden a ríos, pozos y aguas termales (Figura 71b). A mayor profundidad, su distribución espacial varía. Entre 1.000-3.000 pies (~300 a 1.000 metros, banda superior de color azul oscuro en la Figura 71ª) de profundidad se localizan al oeste de la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías", zona de máxima biodegradación de crudos (Parra, y otros, 2018). Entre 3.000-6.000 pies de profundidad (~1.000 a 3.000 metros banda superior de color verde claro en la Figura 71ª) aparecen cerca de estructuras al oeste que posiblemente sirven como vías de migración. Entre 9.000-12.000 pies de profundidad (~3.000 a 4.000 metros, banda superior de color fucsia en la Figura 71ª) se localizan al Este de la cuenca. Por último, entre 15.000-19.000 pies de profundidad (~5.000 a 6.500 metros, banda superior de color rojo en la Figura 71ª) se asocian a los corrimientos frontales de la colisión con la Placa Caribe.

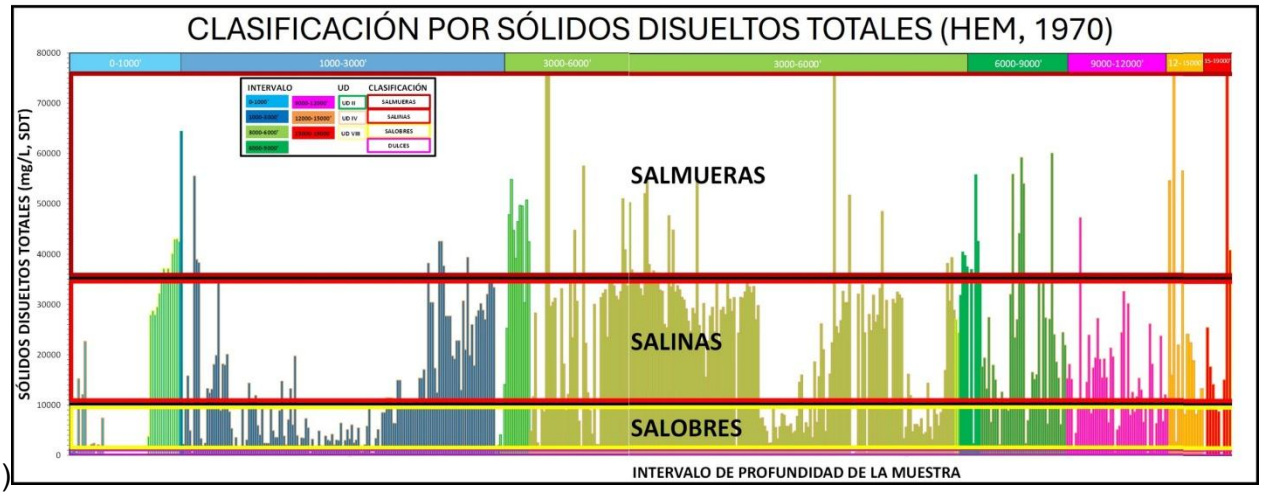
- Las muestras clasificadas como salobres (rectángulo de borde amarillo en la Figura 71a), sugieren un proceso de mezcla entre aguas de formación (connatas) y aguas de menor tiempo de residencia. En el intervalo superficial (0-1.000 pies, ~0 a 300 metros, banda superior de color azul claro en la Figura 71a), su presencia en pozos petroleros podría indicar contaminación por agua de inyección utilizada en recuperación de hidrocarburos, pero también filtraciones de aguas dulces hacia reservorios someros. Entre 1.000-9.000 pies de profundidad (~300 a 3.000 metros, bandas superiores de color azul oscuro y verde en la Figura 71ª), las muestras manifiestan una alineación con elementos estructurales adyacentes, sugiriendo procesos de mezcla a mayor profundidad. En el intervalo de profundidad 9.000-12.000 pies de profundidad (~3.000 a 4.000 metros, banda superior de color fucsia claro en la Figura 71ª), la ausencia de

contacto con aguas salinas indica un proceso de dilución, posiblemente vinculado a la interacción roca agua con alguna formación geológica local; además, se asocian geográficamente a la falla de Anaco y al norte de Monagas, pudieran ser evidencias del proceso de migración de los fluidos de norte a sur. Finalmente, entre 12.000-15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros, banda superior de color naranja en la Figura 71ª), las muestras se localizan al este de la Falla de Anaco, nuevamente, adyacente a elementos estructurales.

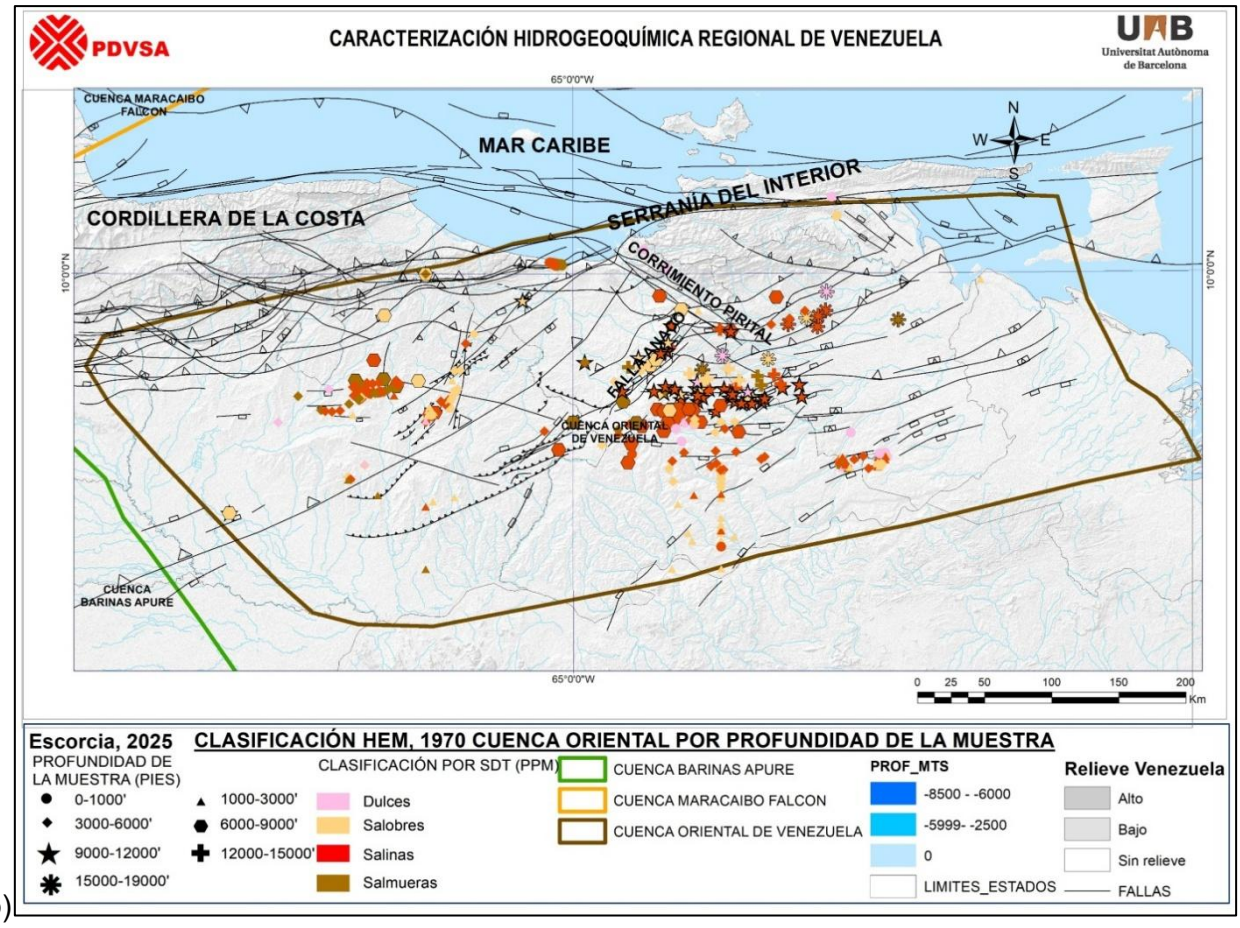
- Las muestras con sólidos disueltos totales (SDT) superiores a 10.000 ppm, clasificadas como salinas (rectángulo de borde rojo en la Figura 71a), reflejan un cambio composicional puntual asociado principalmente a aguas de formación y procesos hidrogeoquímicos locales. En superficie (0 a 1.000 pies o ~0 a 300 metros, banda superior de color azul claro en la Figura 71a), las muestras de la UDVIII en la Laguna de Píritu sugieren aporte iónico desde las litologías en el área (Tabla 24) o influencia antrópica por actividades petroleras (Ponton Jimenes, 2018). Entre 1.000 a 3.000 pies de profundidad (~300 a 1.000 metros, banda superior de color azul oscuro en la Figura 71ª), su presencia en la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías" (equivalente a UDIV) podría ser evidencia de migración de aguas connatas e hidrocarburos desde el norte de la cuenca (Figura 6, ej.: (Angulo, Cabrera, Casalins, Vasquez, & Volcan, 2016). En 3.000-9.000 pies de profundidad (~1.000 a 3.000 metros, bandas superiores de color verde claro en la Figura 71ª), la coexistencia con aguas dulces y salinas indica procesos de mezcla. Entre 9.000-12.000 pies de profundidad (~3.000 a 4.000 metros, banda superior de color fucsia claro en la Figura 71ª), su asociación con la Falla de Anaco y norte de Monagas refleja indicios de la migración norte-sur (Angulo *et al*., 2016), mientras que en 12.000-15.000 pies de profundidad (~4.000 a 5.000 metros, banda superior de color naranja en la Figura 71ª), se localizan al este de dicha falla, completando así un patrón distribuido que responde a múltiples mecanismos hidrogeológicos.

- Las salmueras (aguas con más de 35.000 ppm de SDT, (rectángulo de borde vinotinto en la Figura 71a) presentan una distribución estratigráfica y areal claramente definida. En el intervalo somero (0 a 1.000 pies o ~0 a 300 metros, banda superior de color azul claro en la Figura 71a) se asocian a posible actividad antrópica (Ponton Jimenes, 2018). Entre 1.000 a 3.000 pies de profundidad (~300 a 1.000 metros, banda superior de color azul oscuro en la Figura 71ª), se localizan en la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías", lo que sugiere migración de fluidos desde el norte o aguas desde la depositación (Angulo, *et al*., 2016). De 3.000 a 9.000 pies de profundidad (~1.000 a 3.000 metros) predominan en la subcuenca de Guárico, principalmente en formaciones de UDII y UDIV, con muestras aisladas (M-84, M-86) cerca de la sutura de la colisión Placa Caribe- Placa suramericana. A partir de 9.000 pies de profundidad (~3.000 metros), la distribución cambia hacia el este: solo una muestra aparece entre 9.000 a

12.000 pies de profundidad (~3.000 a 4.000 metros, banda superior de color fucsia en la Figura 71ª), mientras que entre 12.000 a 19.000 pies de profundidad (~4.000 a 6.500 metros, bandas superiores de color naranja y rojo en la Figura 71ª), se concentran en la Subcuenca de Maturín, cerca de la Falla de Anaco.



a)



b)

c)

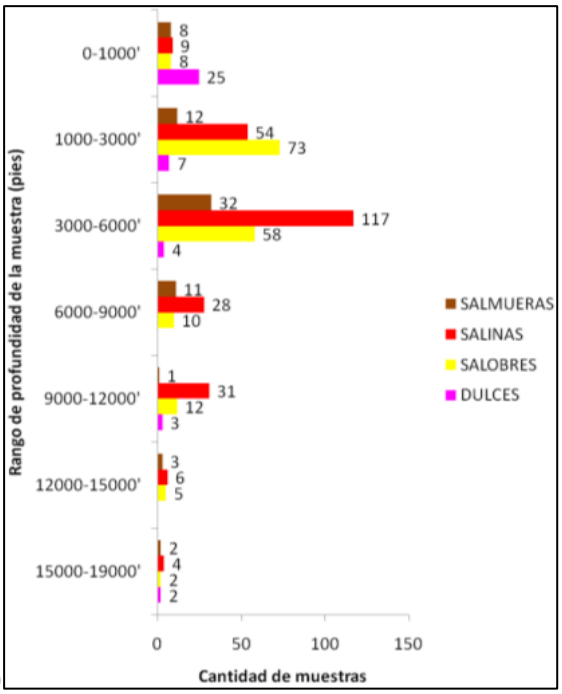


Figura 71. Grupos de aguas identificados a partir de la cantidad de sólidos disueltos totales (SDT) de acuerdo con la clasificación de Hem (1970) en la cuenca Oriental: a) Gráfico con la concentración SDT (mg/L) de las muestras por intervalo de profundidad y unidad depositacional: dulce, salobres, salinas y salmueras. Los colores internos muestran la profundidad 0-1.000 pies (azul claro), 1.000-3.000 pies (azul oscuro), 3.000-6.000 pies (verde claro), 6.000-9.000 pies (verde oscuro), 9.000-12.000 pies (fucsia, 12.000-15.000 pies (naranja y 15.000-19.000 pies (rojo). Los colores en el borde son las UD: UDII (verde oscuro), UDIV (carne) y UDVIII (naranja claro) b) Mapa con la localización de las muestras. y c) Gráfico de barras con la proporción de muestras en cada clasificación de Hem (1970) por rango de profundidad.

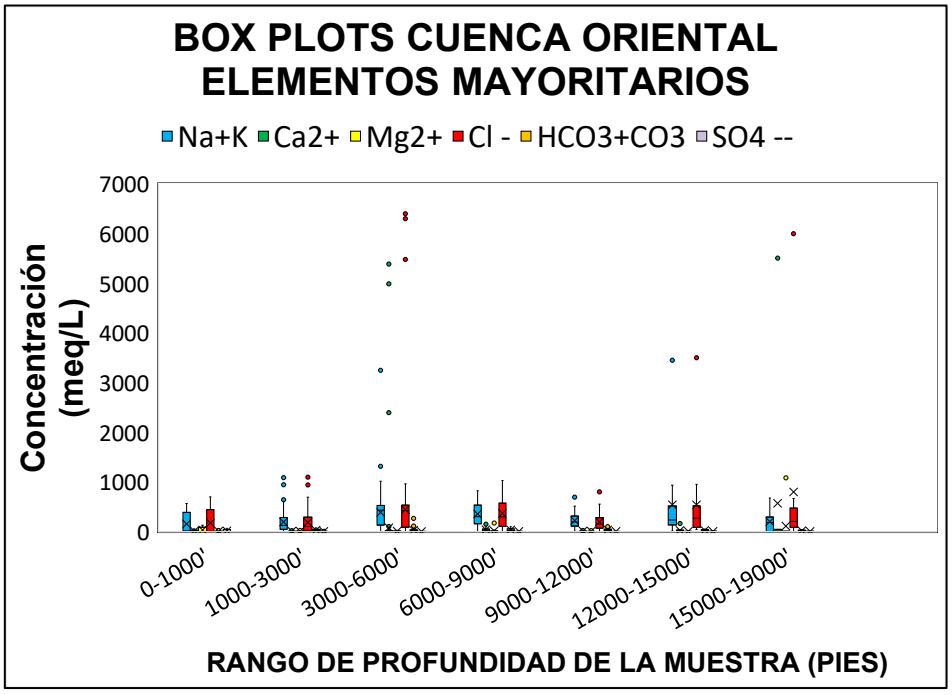
V. 3. 2 Correlación de elementos mayoritarios

La distribución de muestras con datos hidrogeoquímicos disponibles según iones mayoritarios y profundidad se presenta en la Tabla 25, mientras que sus concentraciones se encuentran en la Figura 72. Se observa concentraciones promedio en general inferiores a los 1.000 meq/L y no existe una tendencia clara en el aumento de las concentraciones por profundidad a la cual fue tomada la muestra. En todos los intervalos de profundidad la composición con mayor concentración de sólidos disueltos totales es clorurada sódica. La concentración de sulfato sólo es relevante para el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros); al igual que la concentración de calcio. Existen muestras con valores extraordinarios de cloruro y calcio para los intervalos de profundidad de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) y de 12.000 a 19.000 pies (~4.000 a 6.500 metros).

Tabla 25. Resumen de las muestras con datos hidrogeoquímicos disponible por ion mayoritario y por rango de profundidad en el cual fue tomada la muestra en la Cuenca Oriental.

Rango de profundidad (pies)	Número de muestras con dato reportado del Ion mayoritario						
	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	$HCO_3^-+CO_3^{2-}$
0-1.000	50	25	49	48	38	50	50
1.000-3.000	145	63	145	145	123	146	145
3.000-6.000	211	9	211	202	166	211	211
6.000-9.000	48	4	49	48	40	49	49
9.000-12.000	47	7	47	46	37	47	47
12.000-15.000	14	1	14	14	12	14	14
15.000-19.000	9	1	10	8	7	10	10
Total	**524**	**110**	**525**	**511**	**423**	**527**	**526**

a)



b)

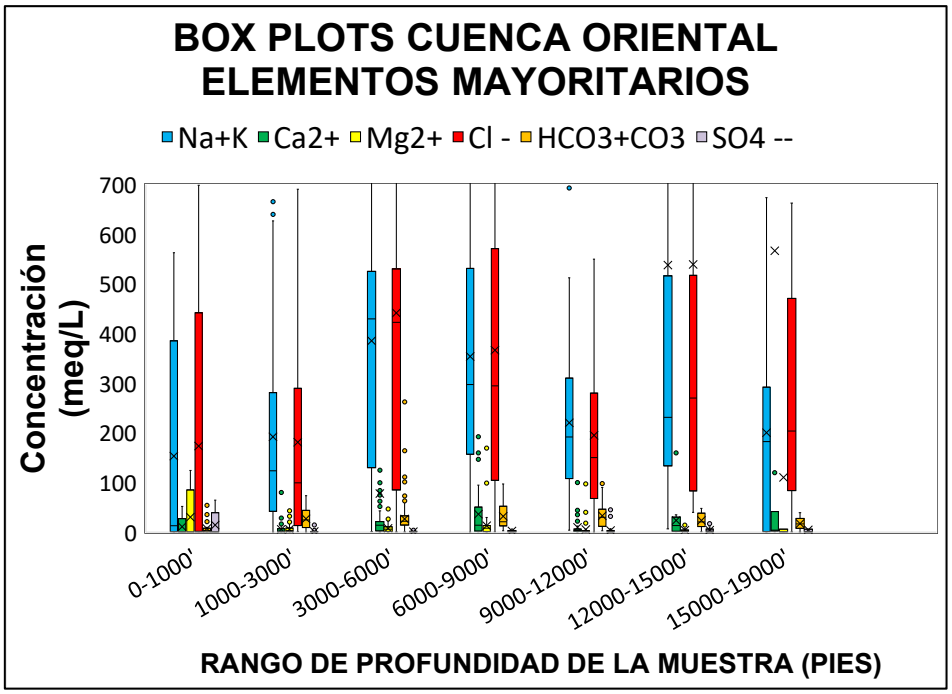


Figura 72. Gráfico *Box Plots* o de cajas y bigotes para la Cuenca Oriental de la concentración en meq/L de los iones principales. a) Concentraciones de elementos mayoritarios hasta 7.000 meq/L. b) Detalle de la figura anterior con concentraciones hasta 700 meq/L. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja).

En adelante se describen los gráficos de dispersión en base a la relación de las especies aniónicas mayoritarias: cloruro, bicarbonato y sulfato, respecto a las catiónicas: calcio, magnesio y potasio con la finalidad de establecer cuáles son las correlaciones químicas principales.

Cloruro

La importancia del cloruro dentro del medio es su constancia en la concentración y su relación con el medio marino. Las relaciones que se consideraron son: cloruro y sodio, cloruro y magnesio, cloruro y calcio, cloruro y sulfato, cloruro y bromuro y cloruro y bicarbonato.

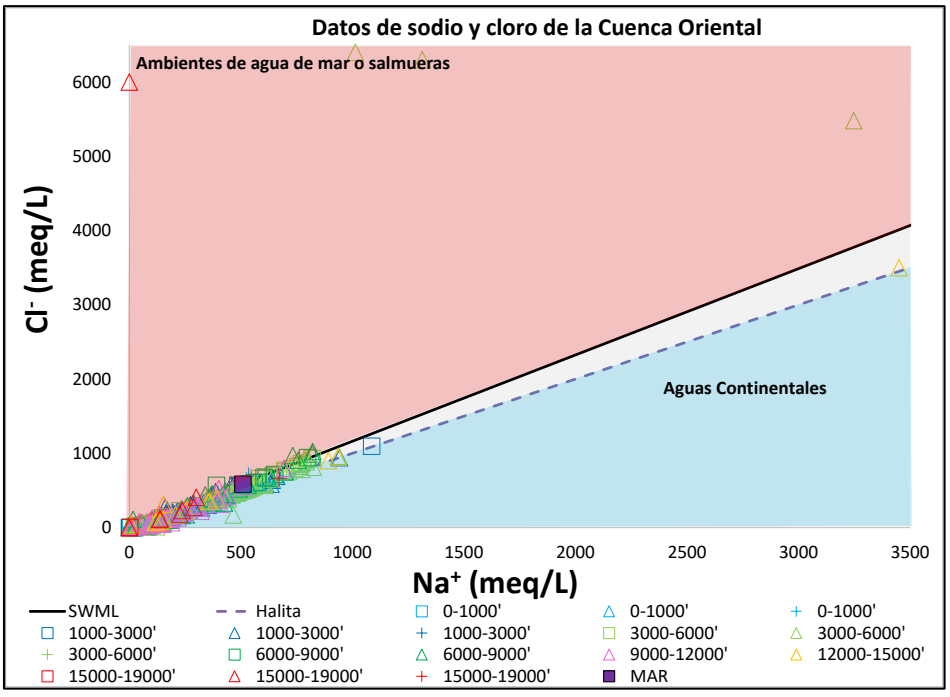
Cloruro y sodio

Para la relación sodio / cloruro se utilizaron 527 muestras de agua y se agrupan en 5 tipos de interacción descritos en la Tabla 26 y en la Figura 73: enriquecida en cloruro respecto al sodio, enriquecida en sodio respecto al cloruro, con la misma relación que el agua de mar y/o en contacto con halita (Kharaka y Harnor, 2003). De acuerdo con la litología en el área, como se puede ver en la Tabla 24, no se espera un aporte de cloro al sistema hídrico.

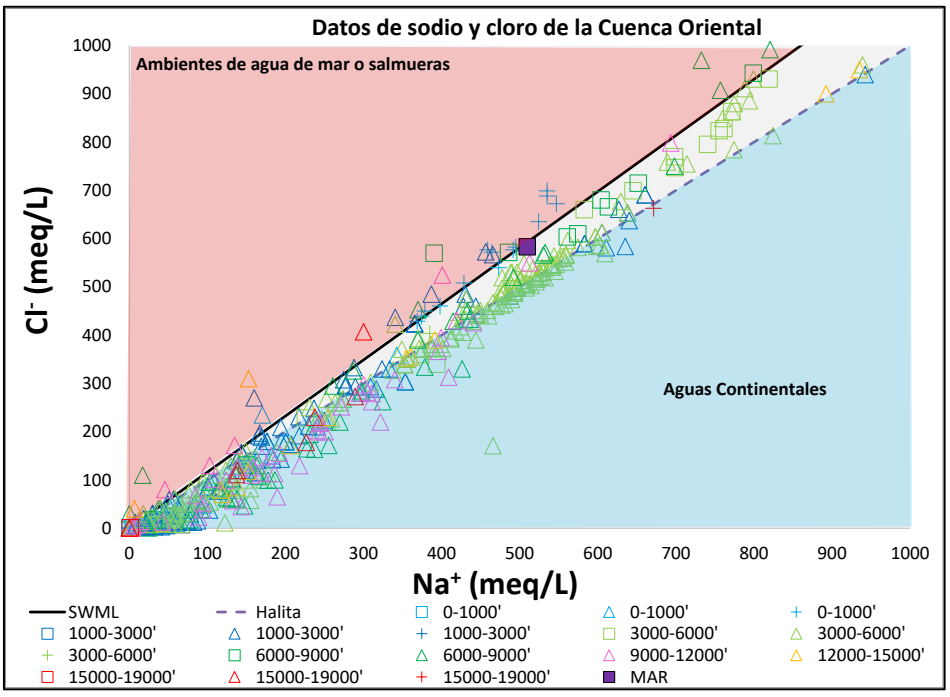
Tabla 26. Resumen de la relación molar Na^+/Cl^- en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	Enriquecida en Cl^-	$0,8>Na^+/Cl^->1$	Enriquecida en Na^+
0-1.000	UDII, UDIV y UDVIII	7 muestras, mayormente ubicadas en la Laguna de Píritu	13 muestras mayormente ubicadas en la Laguna de Píritu	30 muestras
1.000-3.000		7 muestras de la UDIV mayormente de la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías"	54 muestras (53 UDIV y 1 UDII) mayormente de la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías", mantienen una alineación.	85 muestras (82 UDIV, 2 UDVIII y 1 UDII) en la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías" y área de Guárico
3.000-6.000		5 muestras de la UDIV	112 muestras (99 UDIV, 11 UDII, 2 UDVIII) mayormente en el área de Guárico	94 muestras (91 UDIV y 3 UDII)
6.000-9.000	UDII y UDIV al norte y centro de la cuenca	8 muestras (7 UDIV y 1 UDII)	17 muestras (10 UDIV y 7 UDII)	24 muestras (22 UDIV y 2 UDII) menor concentración que el resto
9.000-12.000	UDIV	4 muestras al este de la cuenca	6 muestras al este de la cuenca mayores [Cl^-, Na^+]	37 muestras
12.000-15.000		2 muestras	6 muestras con altas concentraciones al este de la cuenca	6 muestras con las menores concentraciones
15.000-19.000	UDII, UDIV y UDVIII	2 muestras	2 muestras (1 UDIV y 1 UDVIII)	6 muestras (5 UDIV y 1 UDII) centro de la cuenca

A rasgos generales se observa que el intervalo 0 a 1.000 pies de profundidad (~0 a 300 metros) es el que posee mayor porcentaje de muestras enriquecidas en cloruro, lo cual podría deberse a la proximidad con el aerosol marino o actividad antrópica (Calvo Gordaliza *et al*., 2009). En general la concentración de los iones sodio y cloruro aumenta con la profundidad hasta los 6.000 pies (~2.000 metros) y en los intervalos subsiguientes la concentración disminuye. Las muestras M-17, M-84, M-86, M-639 y M-987 tienen una concentración de cloruro especialmente alta ubicadas en el área central de la cuenca. En todos los intervalos, para la mayoría de las muestras, posiblemente exista un aporte adicional de sodio desde otra interacción química, como por la presencia de sales como $NaHCO_3$ o Na_2SO_4. Adicionalmente, se observa que restando a la concentración de sodio aquella que correspondería a $NaHCO_3$, (Figura 73[c]), la mayoría de los datos quedan restringidos entre las líneas de disolución de halita y la curva de la línea mundial de agua de mar.


Datos de sodio y cloro de la Cuenca Oriental
Ambientes de agua de mar o salmueras
Aguas Continentales
Cl⁻ (meq/L)
Na⁺ (meq/L)
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
SWML
Halita
0-1000'
0-1000'
0-1000'
1000-3000'
1000-3000'
1000-3000'
3000-6000'
3000-6000'
3000-6000'
6000-9000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
15000-19000'
15000-19000'
MAR

a)


Datos de sodio y cloro de la Cuenca Oriental
Ambientes de agua de mar o salmueras
Aguas Continentales
Cl⁻ (meq/L)
Na⁺ (meq/L)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
SWML
Halita
0-1000'
0-1000'
0-1000'
1000-3000'
1000-3000'
1000-3000'
3000-6000'
3000-6000'
3000-6000'
6000-9000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
15000-19000'
15000-19000'
MAR

b)

c)

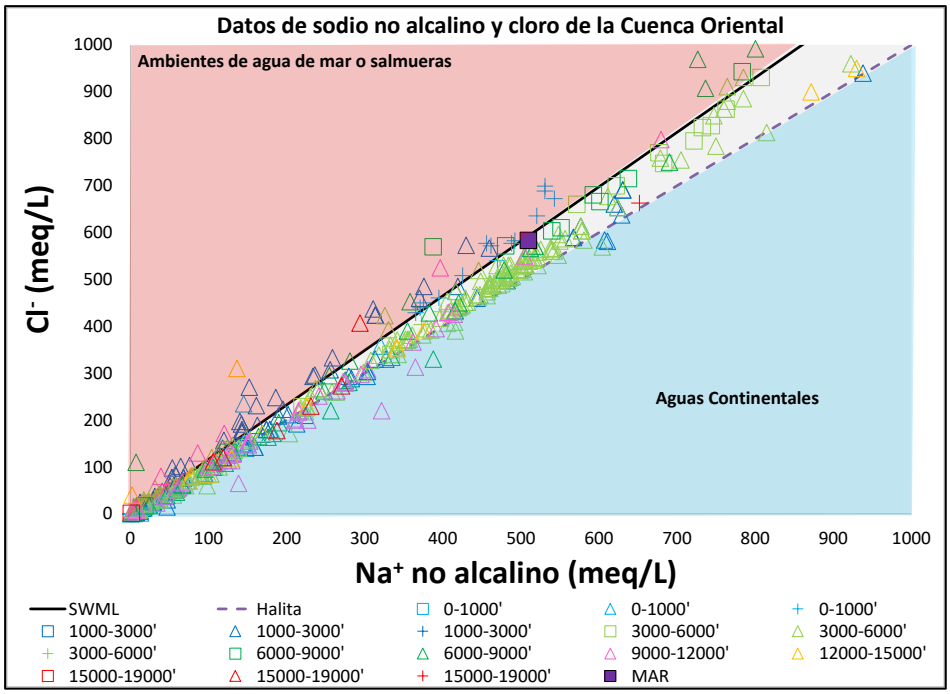


Figura 73. Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Oriental. La línea continua representa la relación Cl^-/Na^+ del agua marina (0,8) y la línea de puntos representa la de aguas equilibradas con halita (Kharaka y Harnor, 2003). a) Sodio total en meq/L en relación con cloruro en una escala de 0 a 3500 meq/L de sodio y 0 a 6500 meq/L de cloruro b) Sodio total en meq/L en relación con cloruro en una escala de 0 a 1.000meq/L de sodio y 0 a 1.000meq/L de cloruro c) Sodio sin la fracción que posiblemente interacciona con bicarbonato en relación con cloruro en una escala de 0 a 1.000meq/L de sodio y 0 a 1.000meq/L de cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar.

Cloruro y calcio

Los 525 datos utilizados en este análisis fueron subdivididos de acuerdo con los rangos de concentración de calcio y cloro. Las muestras se describen en relación con la profundidad (Tabla 27 y Figura 74), donde se observa que en general contienen mayor concentración de cloro y calcio que en las cuencas previas, relacionado con la clasificación de sólidos disueltos totales.

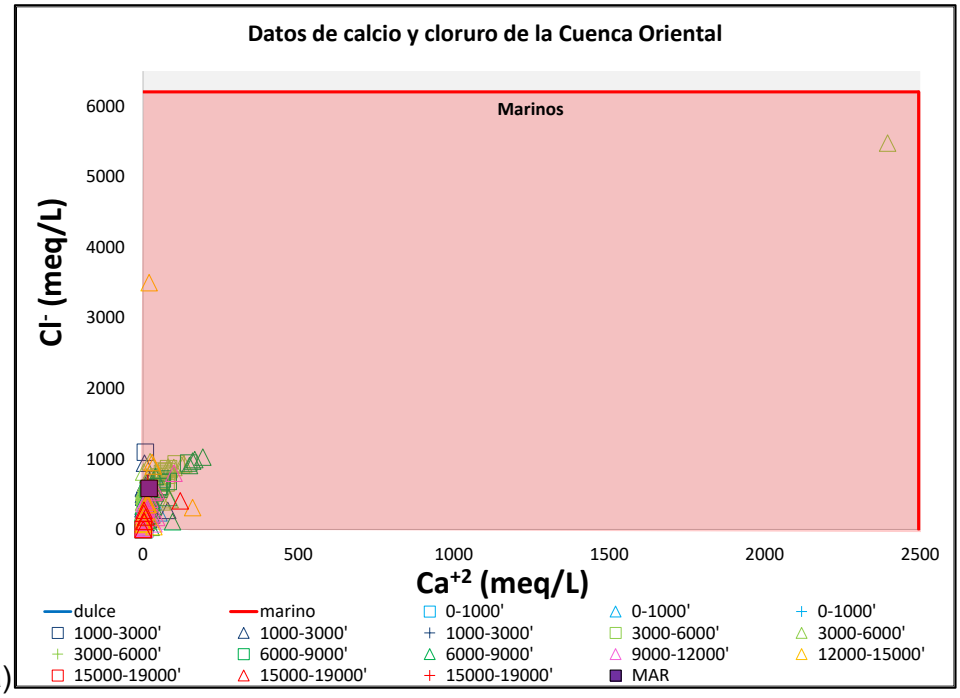
En el intervalo de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) de profundidad las concentraciones de Cl^- y Ca^{2+} de las muestras son superiores a los intervalos inferiores sólo para aquellas provenientes de la Laguna de Píritu, M-146, M-626 y M-780. En los intervalos1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros) y de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros) de profundidad se observa una baja correlación entre los iones Cl^- y Ca^{2+}, y sólo para dos muestras (M-85 y M-147), se observa una correlación positiva. En el intervalo de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) de profundidad las muestras contienen mayor concentración de Ca^{2+}, con una posible correlación con cloruro en las muestras tomadas en la UDII. Para el rango de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros) de profundidad, nuevamente existe una relación entre las muestras tomadas de la UDII a contener mayor concentración de calcio. En el intervalo de 12.000 a 19.000 pies de profundidad (~4.000 a

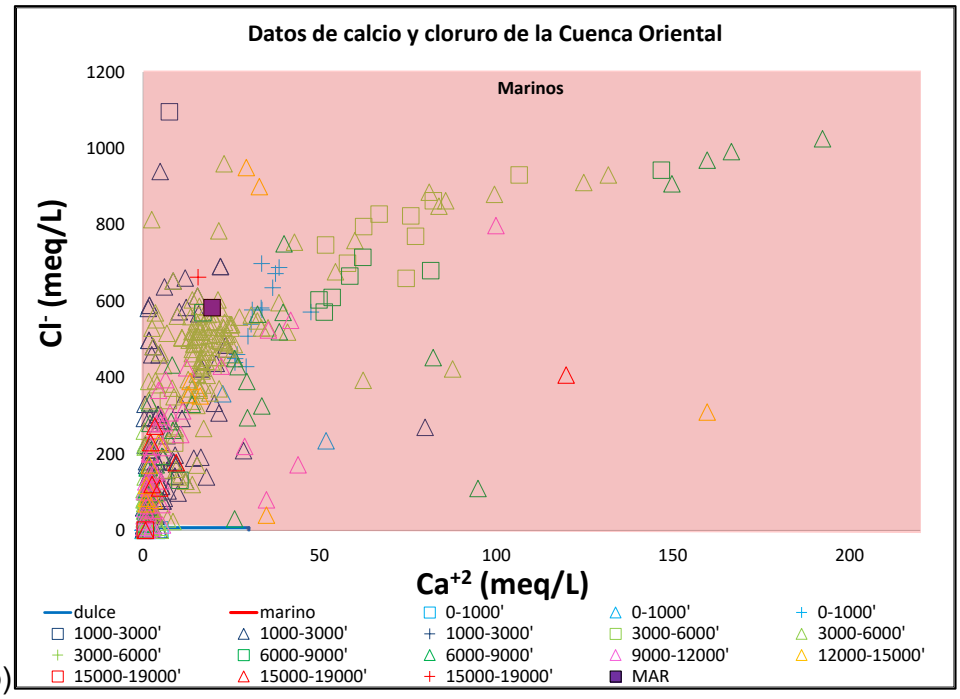
6.500 metros) las concentraciones absolutas de ambos iones son altas; sin embargo, no muestran correlación entre ellos.

Tabla 27. Resumen de la relación molar Ca/Cl en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	Ambientes marinos	Fuera de los intervalos de concentración característicos de un tipo de agua	Ambientes de aguas dulces
0-1.000	UDII, UDIV y UDVIII	10 muestras mayormente en la Laguna de Píritu, poca variación en la [Ca^{2+}]	34 muestras	5 muestras al norte de la cuenca [ ] muy bajas de ambos iones
1.000-3.000		1 muestra M-85 de la UDIV	127 muestras (125 UDIV, 1 UDII y 1 UDVIII)	17 muestras (16 UDIV), [ ] muy bajas de ambos iones
3.000-6.000		27 muestras (18 UDIV y 9 UDII) mayormente al oeste de la cuenca	181 muestras (174 UDIV, 5 UDII y 2 UDVIII), sólo aumenta la proporción de cloruros en relación con la de calcio	3 muestras UDIV [ ] muy bajas de ambos iones
6.000-9.000	UDII y UDIV	18 muestras (11 UDIV, 7 UDII)	30 muestras (27 UDIV y 3 UDII)	1 muestra de UDIV
9.000-12.000	UDIV	5 muestras M-147, M-80, M-636, M-660 y M-754	41 muestras	1 muestra
12.000-15.000		3 muestras al este de la cuenca	11 muestras al este de la cuenca	--
15.000-19.000	UDII, UDIV y UDVIII	1 muestra UDIV centro norte de la cuenca	8 muestras (7 UDIV, 1 UDVIII)	1 muestra UDII este de la cuenca

a)





b)

Figura 74. Gráficos de concentraciones de calcio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Oriental, en base a los límites descritos en Kharaka & Harnor (2003). a) Gráfico con una escala de 0 a 2500 meq/L de calcio y de 0 a 6.500 meq/L de cloruro b) Gráfico con una escala de 0 a 220 meq/L de calcio y de 0 a 1.200 meq/L de cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar.

Cloruro y magnesio

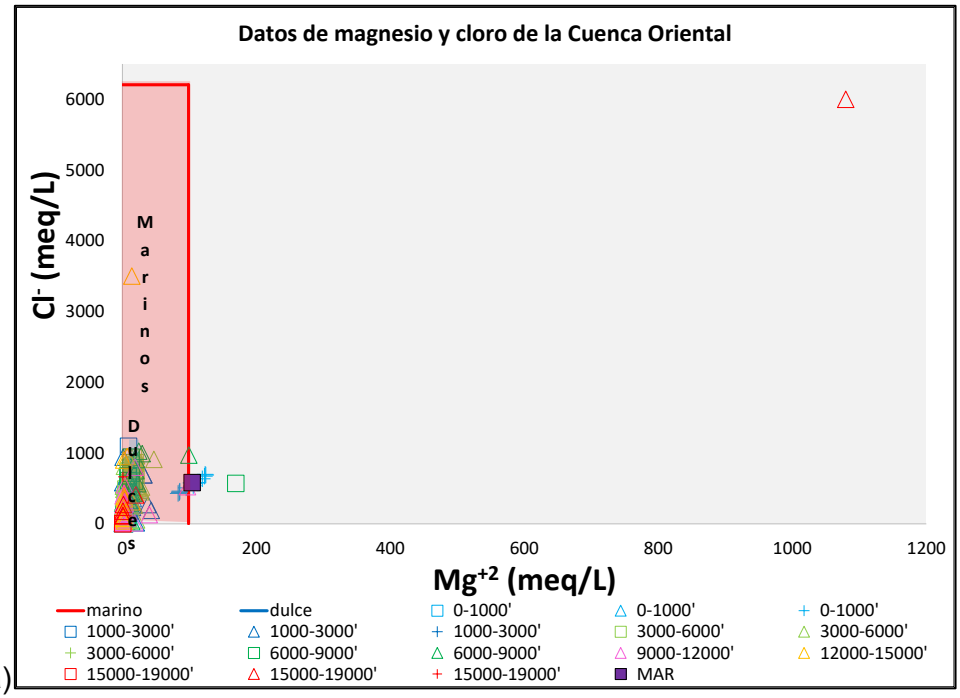
Los 511 datos utilizados en este análisis fueron subdivididos de acuerdo con los rangos de concentración de magnesio y cloro. Estos datos se describen en relación con la profundidad de la muestra y se resumen en la Tabla 28 y en la Figura 75. Al igual que con la relación Ca^{2+}/Cl^{-} y considerando que estos iones suelen mantener los patrones de movilidad, se evidencia la baja correlación con valores extremos en la relación.

En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), sólo las muestras ubicadas en la Laguna de Píritu muestran una alta concentración de magnesio, relacionado posiblemente por el aporte de iones en la mezcla con el aerosol marino. Existe una aparente correlación entre los iones para las muestras en el intervalo de profundidad de 3.000-9.000 pies, con las mayores concentraciones de magnesio para las muestras M-77 y M-228. En el rango de profundidad de 9.000 a 15.000 pies hay una baja correlación entre los iones y particularmente las muestras M-754 y M-987 tienen una elevada concentración de magnesio y la muestra M-17 en cloruro. Para las muestras tomadas en las formaciones equivalentes a la UDIV, en el intervalo de profundidad de 1.000-3.000 pies en relación con el intervalo de profundidad de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) disminuye la concentración de magnesio.

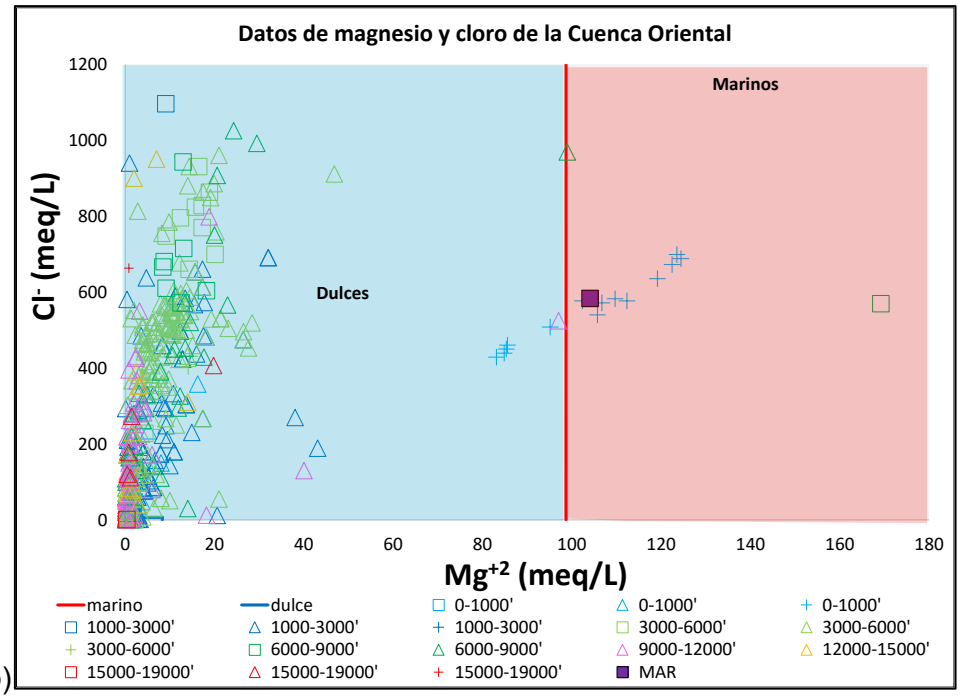
Tabla 28. Resumen de la relación molar Mg^{2+}/Cl^{-} en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	Ambientes marinos	Fuera de los intervalos de concentración característicos de un tipo de agua	Ambientes de aguas dulces
0-1.000	UDII, UDIV y UDVIII	6 muestras mayormente ubicadas en la Laguna de Píritu	28 muestras, de las cuales 9 de ellas son correlacionables con la Laguna de Píritu	14 muestras
1.000-3.000		37 muestras (36 UDIV y 1 UDII) mayormente de la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías"	85 muestras (84 UDIV y 1 UDVIII) Baja correlación de los iones sólo aumenta [Cl] en relación con otros intervalos	23 muestras (22 UDIV, 1 UDVIII)
3.000-6.000		82 muestras (71 UDIV, 9 UDII, 2 UDVIII), mayoritariamente Guárico	116 muestras (111 UDIV y 5 UDII) Baja correlación de los iones sólo aumenta [Cl] en relación con otros intervalos	4 muestras UDIV, Guárico
6.000-9.000	UDII y UDIV	21 muestras (14 UDIV, 7 UDII), las muestras de la UDII con menor enriquecimiento relativo en Mg^{2+} en relación con otros intervalos	26 muestras (23 UDIV y 3 UDII)	1 muestra en UDIV M-114
9.000-12.000	UDIV	4 muestras Este de la cuenca	41 muestras Baja correlación de los iones sólo aumenta [Cl] en relación con otros intervalos	1 muestra M-382
12.000-15.000		2 muestras al Este de la cuenca	12 muestras Baja correlación de los iones sólo aumenta [Cl] en relación con otros intervalos	----
15.000-19.000	UDII, UDIV y UDVIII	1 muestra UDIV M-28	6 muestras, particular la muestra M-987 alta concentración de ambos iones	1 muestra UDII M-667

a)



b)



c)

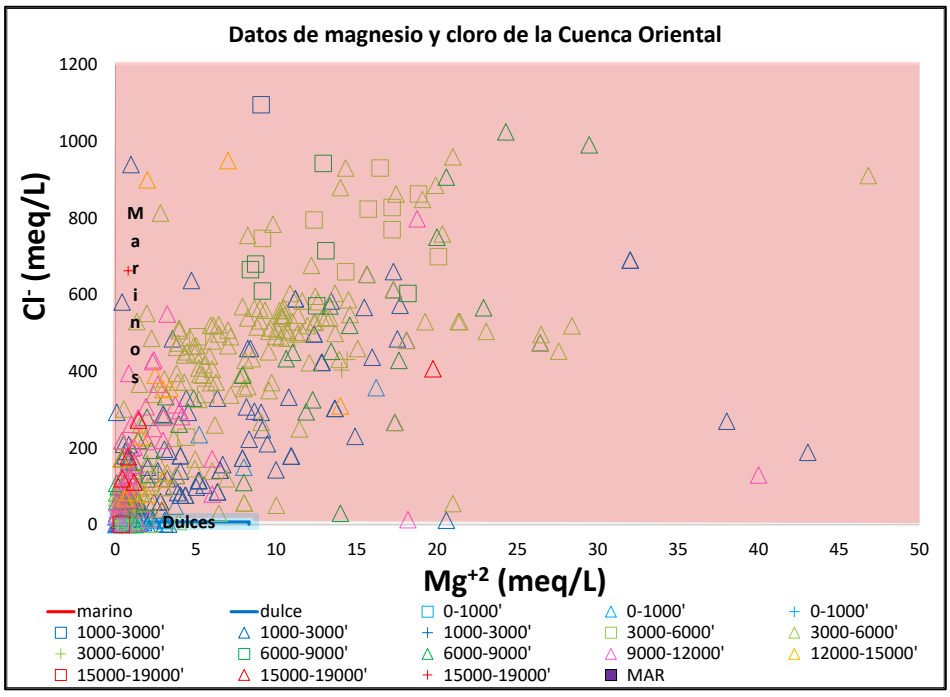


Figura 75. Gráficos de concentraciones de magnesio con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Oriental, de acuerdo con los límites propuestos en De Sousa (2006). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. a) con escala hasta 6500 meq/L Cl y 1100 meq/L de Mg^{2+}b) con escala hasta 1200 meq/L Cl y 180 meq/L de Mg^{2+}y, c) con escala hasta 1200 meq/L Cl y 50 meq/L de Mg^{2+}. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar.

Cloruro y sulfato

Las relaciones entre iones cloruro y sulfato de las muestras de la Cuenca Oriental en función de su profundidad se resumen y muestran en la Tabla 29 y la Figura 76. Se observa que a partir de la

relación interaniónica de cloro y sulfato las 423 muestras con dato disponible se separaron en tres grupos: aguas con una posible interacción con litologías salina como halita (relación menor a 1,2), aguas con la misma relación que la presente en el agua de mar (relación 1,2 a 1,3) o aguas resultantes de una posible interacción con litologías sulfatadas (relación superior a 1,3) (Kharaka y Harnor, 2003). Las diferencias son mayores en la concentración de cloruro. Sólo las muestras asociadas a la Laguna de Píritu muestran una posible correlación entre los iones ya sea por influencia antrópica o la mezcla con el aerosol marino.

Tabla 29. Resumen de la relación molar SO_4^{2-}/Cl^- en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	$SO_4/Cl<1,2$	$SO_4/Cl>1,3$
0-1.000	UDII, UDIV y UDVIII	36 muestras (27 UDVIII, 6 UDIV, 2 UDII), incluyendo aguas de la Laguna de Píritu	3 muestras [ ] bajas para ambos aniones
1.000-3.000		123 muestras (122 UDIV y 1 UDII)	
3.000-6.000		166 muestras (150 UDIV, 14 UDII y 2 UDVIII)	
6.000-9.000	UDII, UDIV	39 muestras (29 UDIV y 10 UDII)	1 muestra UDIV, M-114 con baja concentraciones de ambos iones
9.000-12.000	UDIV	37 muestras (2 muestras con mayores concentraciones de sulfato M-357 y M-940)	
12.000-15.000		12 muestras, con la muestra M-17 con una $[Cl^-]$ muy superior al resto	
15.000-19.000	UDII, UDIV y UDVIII	7 muestras (5 UDIV, 1 UDII y 1 UDVIII)	

En el intervalo de profundidad 1.000-12.000 pies (~300 a 4.000 metros) existe una baja correlación de los aniones donde las variaciones observadas son en la concentración de cloruro. Particularmente las muestras M-357 y M-940 tienen una concentración relativa de sulfato superior a las de su entorno al este de la cuenca. Asimismo, la muestra M-17 tiene una concentración de cloruros elevada.

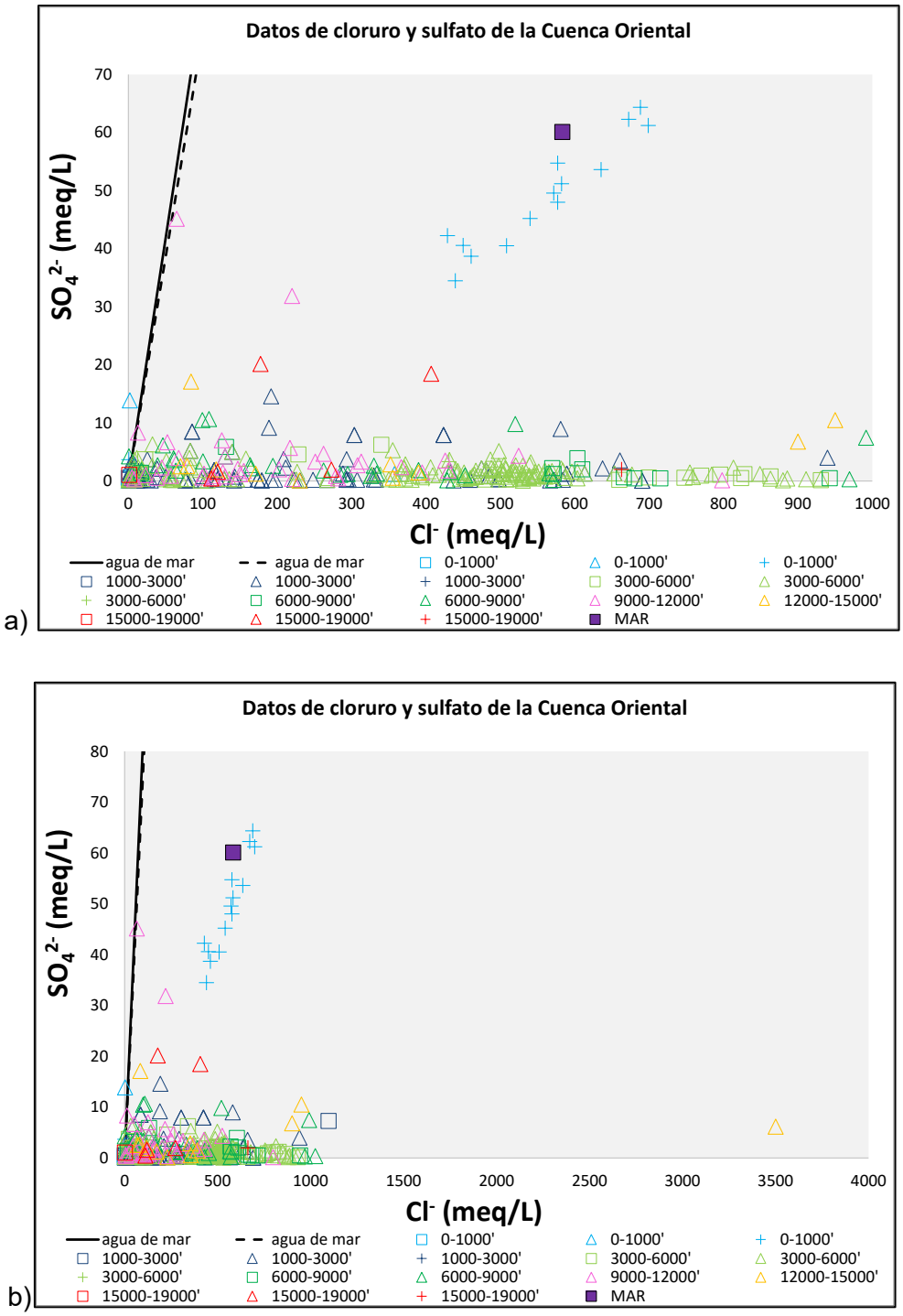


Figura 76. Gráficos de concentraciones de sulfato con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Oriental, de acuerdo con los límites descritos en Kharaka y Harnor (2003). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. a) Gráfico con escala hasta 4.000 meq/L Cl^- y 80 meq/L de SO_4^{2-}y, b) Gráfico con escala hasta 1.000meq/L Cl^-y 70 meq/L de SO_4^{2-}. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar.

Cloruro y bicarbonato

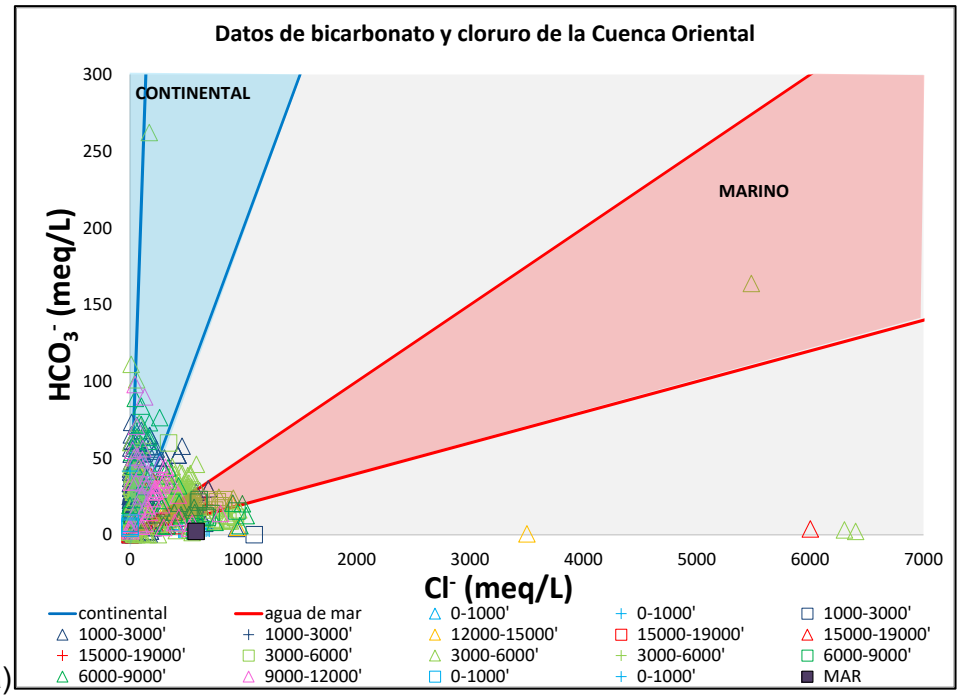
Se observaron cinco grupos en las 523 muestras: aguas con alta concentración de bicarbonato en relación con cloruro (Cl^-/HCO_3^-<0,1), aguas continentales (0,1<Cl^-/HCO_3^-<5), posibles aguas de

mezclas ($5<Cl^-/HCO_3^-<20$), aguas con la misma relación que el agua de mar ($20<Cl^-/HCO_3^-<50$) y aguas con alta concentración de cloruro en relación con bicarbonato ($Cl^-/HCO_3^->50$). Se describen las muestras con relación a la profundidad y se resumen en la Tabla 30 y en la Figura 77.

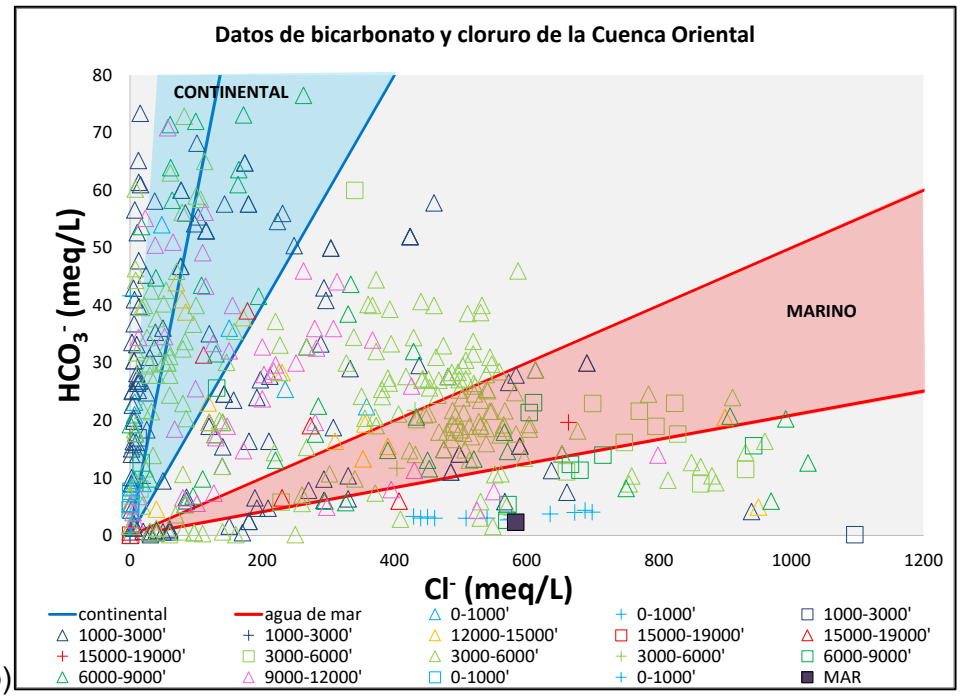
Tabla 30. Resumen de la relación molar Cl^-/HCO_3^- en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	$Cl^-/HCO_3^-<0,1$	$0,1<Cl^-/HCO_3^-<5$	$5<Cl^-/HCO_3^-<20$	$20<Cl^-/HCO_3^-<50$	$Cl^-/HCO_3^->50$
0-1.000	UDII, UDIV y UDVIII	-----	28 muestras mayormente en la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías"	4 muestras de la UDII y UDIV	------	18 muestras donde se ubican las muestras de la Laguna de Píritu
1.000-3.000		1 muestra UDIV M-798	70 muestras (67 UDIV, 2 UDVIII, 1 UDII) en la Faja Petrolífera y Guárico	31 muestras UDIV mayormente en la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías"	31 muestras UDIV mayormente en la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías"	17 muestras (16 UDIV 1 UDII) en la Faja Petrolífera y Guárico
3.000-6.000		1 muestra UDIV M-720	52 muestras (50 UDIV, 2 UDII)	64 muestras (62 UDIV, 1 UDVIII, 1 UDII)	63 muestras (54 UDIV, 1 UDVIII, 8 UDII)	31 muestras (28 UDIV y 3 UDII)
6.000-9.000	UDII y UDIV	1 muestra UDIV M-114	17 muestras (16 UDIV, 1 UDII)	9 muestras (8 UDIV, 1 UDII)	12 muestras (10 UDIV, 2 UDII)	10 muestras (6 UDII, 4 UDIV)
9.000-12.000	UDIV	1 muestra UDIV M-985	19 muestras al Este de la cuenca	20 muestras al Este de la cuenca	2 muestras sur centro de la cuenca	4 muestras al Este de la cuenca
12.000-15.000		-----	4 muestras al Este de la cuenca	5 muestras al Este de la cuenca	3 muestras al Este de la cuenca	2 muestras al Este de la cuenca
15.000-19.000	UDII, UDIV y UDVIII	------	3 muestras UDIV al centro Este de la cuenca	3 muestras (2 UDIV, 1 UDII) al Este de la cuenca	2 muestras (UDIV y UDVIII) al Este de la cuenca	2 muestras al Este de la cuenca

Las muestras en el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) relacionadas con la Laguna de Píritu con una correlación paralela a la línea concentraciones esperadas en agua de mar, enriquecidas en cloruros, las demás muestras se encuentran en o cercano al intervalo de aguas continentales. Existen 5 muestras enriquecidas en cloruro M-17, M-987, M-84, M-86 y M-639 distribuidas en los intervalos de profundidad de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) y 12.000 a 19.000 pies (~4.000 a 6.500 metros). Existen 2 muestras enriquecidas en bicarbonato M-992 y M-217 en el intervalo de profundidad de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) hacia el este de la cuenca.



a)



b)

Figura 77. Gráficos de concentraciones de bicarbonato con relación a cloro de las muestras de agua de la Cuenca Oriental de acuerdo con las concentraciones sugeridas por Custodio y LLamas (1976). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. a) Gráfico con escala hasta 7.000 meq/L de cloruros y 500 meq/L de bicarbonato y b) Gráfico con escala hasta 1200 meq/L de cloruros y 80 meq/L de bicarbonato. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar.

Cloruro y bromuro

El estudio de la relación interaniónica Br^-/Cl^- incluyó 51muestras y fueron analizadas en tres clasificaciones: muestras con una relación interaniónica de 0,0015; que suele ser característica de

aguas subterráneas proveniente de agua de mar; muestras con una relación interaniónica Br^-/Cl^- inferior a 0,0015 que se pueden explicar por contacto con litologías salinas de tipo halita, que aporta cloruro al medio y muestras con una relación interaniónica mayor a 0,0015 donde se considera que existieron condiciones favorables para la precipitación de halita y/o con la presencia de hidrocarburos, disminuyendo la concentración de Cl^- respecto a Br^- en la muestra (Kharaka y Harnor, 2003). Los grupos identificados se grafican en la Figura 78.

En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) las muestras fueron tomadas en la UDIV y UDVIII con valores de Br^-/Cl^- de 0,0015 para la muestra M-166 y 5 muestras con una relación de 0,013 a 0,19, por disminución de cloruro o un enriquecimiento de bromuro, en relación con el agua de mar. En el intervalo de profundidad de 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros), las muestras fueron tomadas en la UDIV y UDVIII con relación Br^-/Cl^- de 0,0015, para la muestra M-105 y desde 0,0016 a 0,027 para 36 muestras, ya sea por disminución de cloruro o un enriquecimiento de bromuro en relación con el agua de mar.

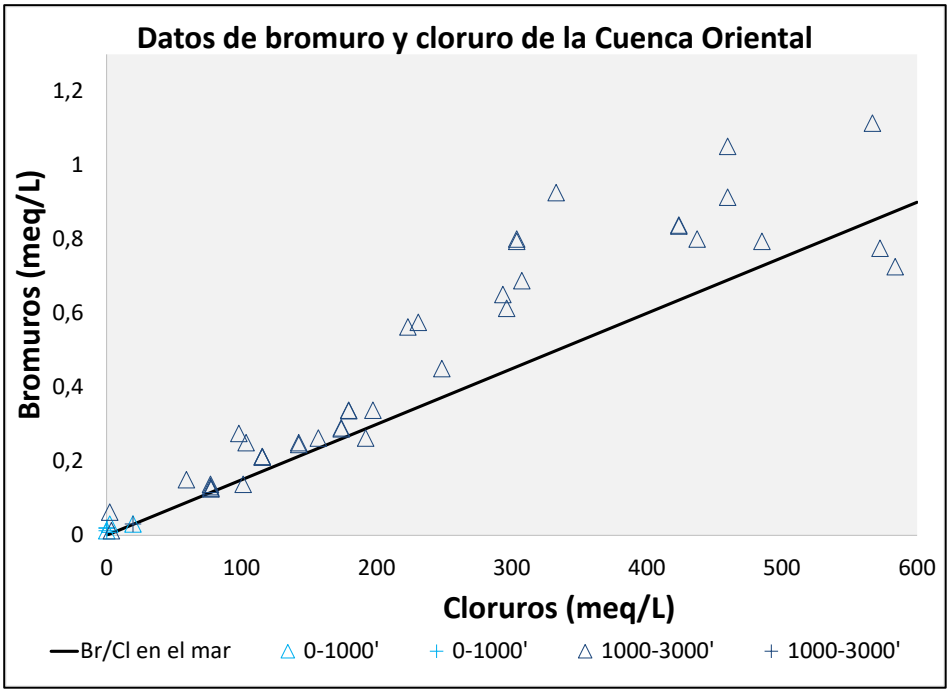


Figura 78. Gráfico de concentración de cloruros en relación con bromuros de las muestras de agua de la Cuenca Oriental. La línea de color negro es indicativa de la relación bromuro / cloruro esperado para muestras de agua de mar. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Bicarbonato y carbonato

Las relaciones que se consideraron son: cloruro y sodio, cloruro y magnesio, cloruro y calcio, cloruro y sulfato, cloruro y bromuro y cloruro y bicarbonato.

Bicarbonato y sodio

Los 520 datos utilizados en este análisis, a partir de la relación Na^+/HCO_3^- fueron subdivididos por profundidad y se resumen en la Tabla 31 y en la Figura 79. La relación Na^+/HCO_3^- no coincide con la de agua marina; sin embargo, en los casos donde el enriquecimiento de sodio es alto, se espera una contribución del ion desde otras fuentes, como NaCl.

Tabla 31. Resumen de la relación molar Na^+/HCO_3^- en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad.

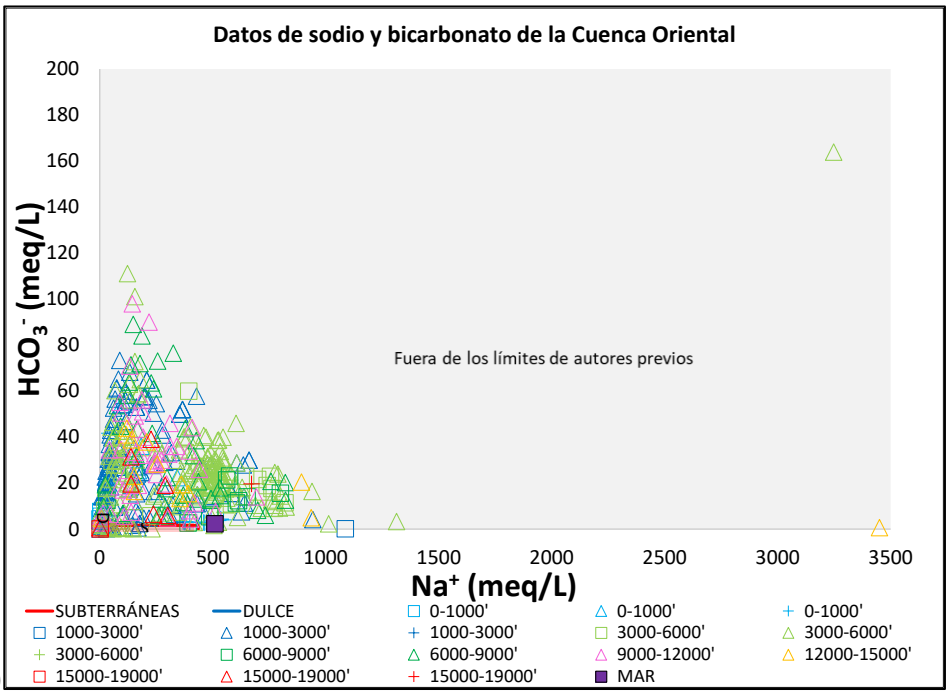
Intervalo Profundidad (Pies)	UD	Aguas dulces	Aguas subterráneas o de mezcla	Aguas subterráneas	Fuera de los intervalos de concentración característicos de un tipo de agua
0-1.000	UDII, UDIV, UDVIII	3 muestras UDII al este			47 muestras (35 UDVIII, 12 UDIV). Las muestras de la UDIV tienen una buena correlación
1.000-3.000		1 muestra M-789 Guárico	2 muestras UDIV en Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías"	13 muestras UDIV en Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías"	126 muestras (122 UDIV, 2 UDII, 2 UDVIII), muestra M-319, M-324 alta en sodio
3.000-6.000		3 muestras UDIV Guárico	1 muestra M-718 UDIV Guárico	11 muestras UDIV en Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías"	196 muestras (180 UDIV, 14 UDII, 2 UDVIII). Muestras M-84, M-86, M-639, M-239 superiores a 1.000meq/L
6.000-9.000	UDII, UDIV				48 muestras (38 UDIV, 10 UDII), altas concentraciones de Na^+, pero <1.000meq/L
9.000-12.000	UDIV	2 muestras UDIV al este			44 muestras menores a >600 meq/L en sodio
12.000-15.000					14 muestras, especialmente M-17 con alto en sodio
15.000-19.000	UDII, UDIV, UDVIII				9 muestras (7 UDIV, 1 UDII y 1 UDVIII) con sodio menor a 700 meq/L

Las muestras del intervalo 0 a 1.000 pies (~0-300 metros) de la Laguna de Píritu (cruces azul claro, Figura 79b) presentan una composición paralela coherente con aguas subterráneas (recuadro azul, Figura 79b), influenciadas por este origen. Entre 1.000 a 6.000 pies (~300-2.000 metros), las muestras, mayoritariamente de la UDIV, muestran dispersión composicional: algunas presentan enriquecimiento en un solo ion, mientras otras mantienen una relación entre ambos. Finalmente, en el intervalo 3.000 a 6.000 pies (~1.000-2.000 metros), las muestras de la UDII registran concentraciones de sodio consistentemente superiores a las de otras unidades depositacionales.

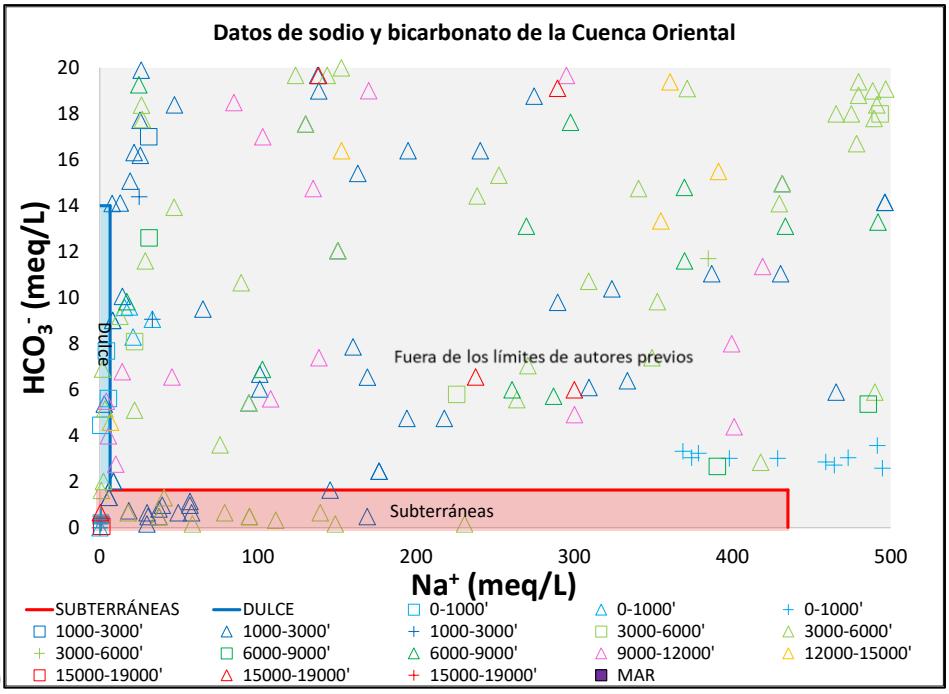
La Figura 79c que representa la concentración de sodio ajustada por su asociación con cloruros, muestra una clara alineación entre ambos iones (bicarbonato y sodio), lo que sugiere un aporte

común y, por tanto, un proceso de mezcla. Destaca en particular la correlación observada en las muestras del intervalo de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros), ubicadas principalmente en la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías”.

Adicionalmente, tras realizar dicho ajuste, se identifica en la UDIV un grupo de muestras con enriquecimiento relativo en bicarbonato (Figura 79c), lo que indica una influencia distintiva de este ion desde dicha unidad. Cabe destacar, que las muestras con mayor concentración de sodio no exhiben contenidos significativos de bicarbonato y arrojan valores negativos al ajustar por cloruros.



a)



b)

c)

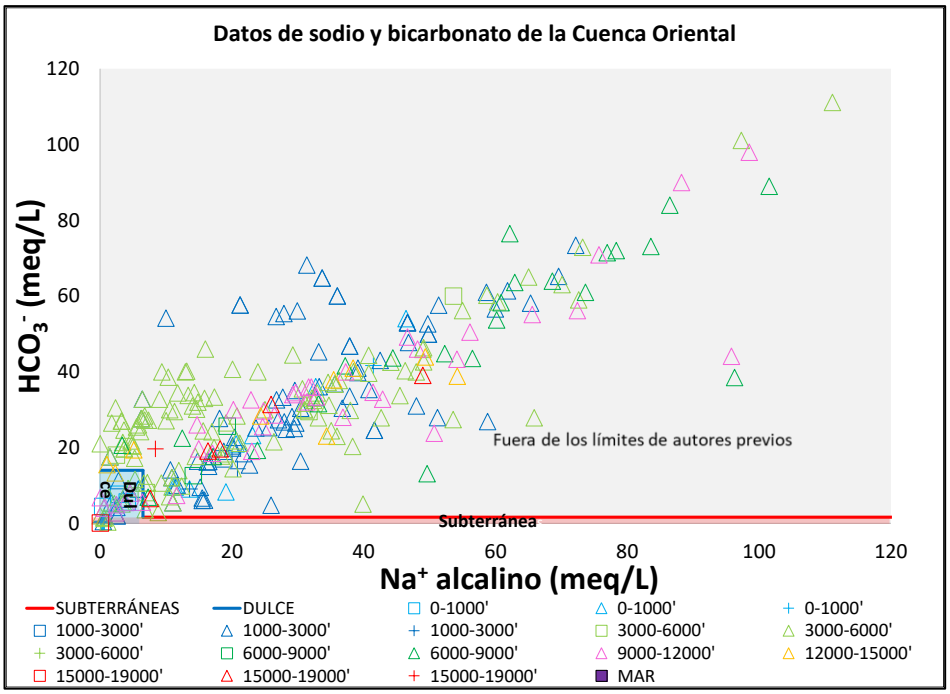


Figura 79. Gráficos de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Oriental a partir de los valores en Custodio y LLamas (1976) y Vásquez Castro (1998): a) Escala hasta 3.500 meq/L Na y 200 meq/L de HCO_3^-, b) Escala hasta 500 meq/L Na y 20meq/L de HCO_3^- y c) concentración de sodio alcalino en una escala hasta 120 meq/L Na y 120meq/L de HCO_3^-, que se refiere a la concentración de sodio remanente sin la cantidad que se podría encontrar en solución con cloruros. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar.

Bicarbonato y calcio

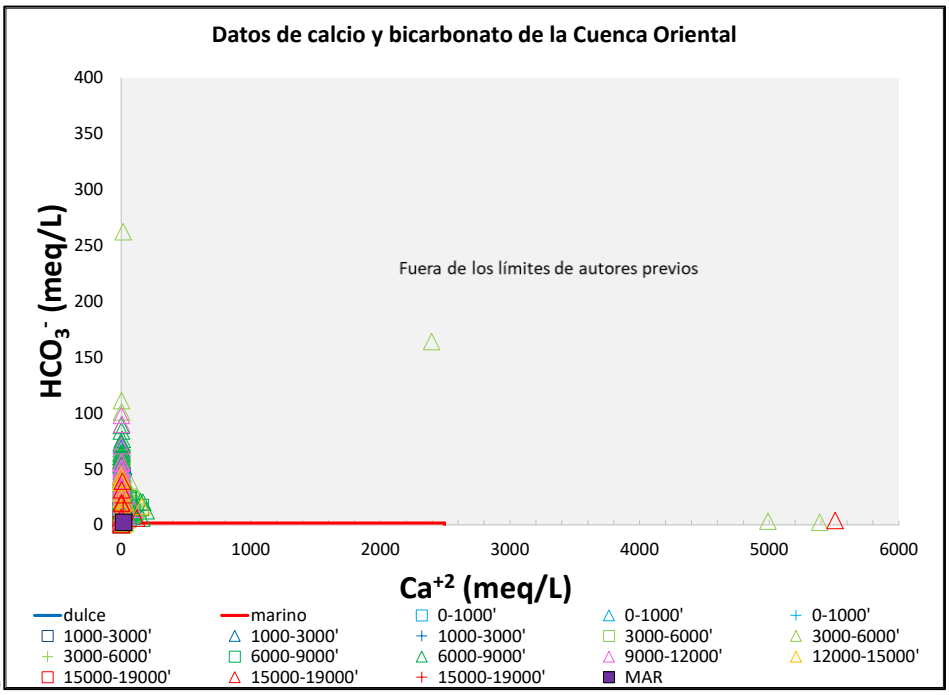
Los 521 datos utilizados en este análisis, a partir de la relación Ca^{2+}/HCO_3^- fueron subdivididos por profundidad y se resumen en la Tabla 32 y en la Figura 80.

Tabla 32. Resumen de la relación molar Ca^{2+}/HCO_3^- en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad.

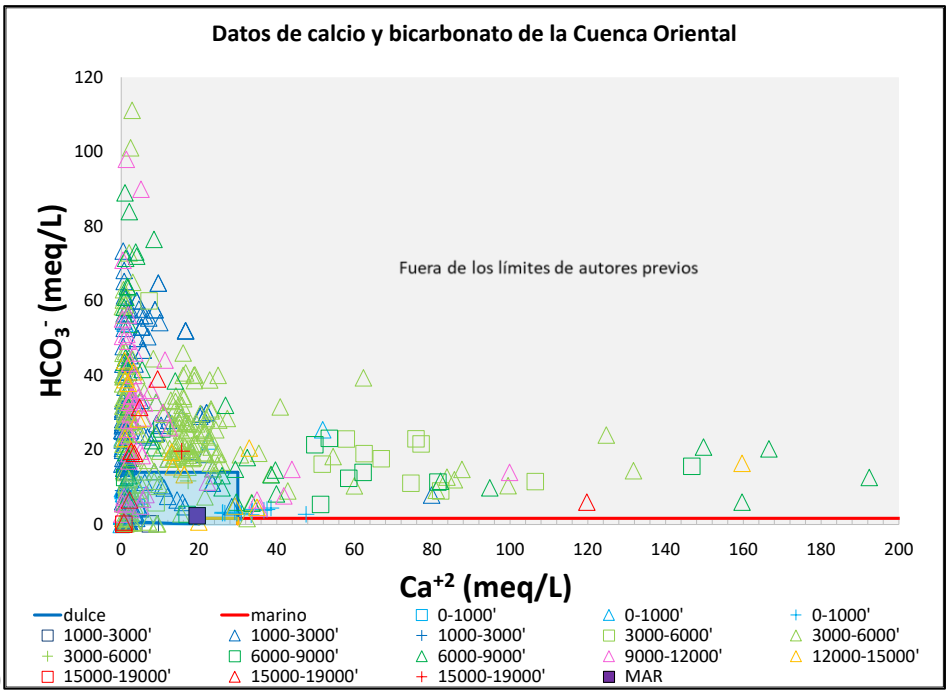
Intervalo Profundidad (Pies)	UD	Aguas dulces	Aguas marinas	Fuera de los intervalos de concentración característicos de un tipo de agua
0-1.000	UDII, UDIV y UDVIII	11, 5 de las cuales se encuentran en la Laguna de Píritu		39 muestras, 9 de las cuales se encuentran en la Laguna de Píritu.
1.000-3.000		31 muestras UDIV Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías"		111 muestras (108 UDIV, 2 UDVIII y 1 UDII)
3.000-6.000		26 muestras (23 UDIV, 2 UDII, 1 UDVIII) al oeste	1 muestra M-737 de la UDIV al este	184 muestras (171 UDIV, 12UDII, 1 UDVIII) [Ca^{2+}] muy alta en M-84, M-86 y M-639 tomadas en la UDIV
6.000-9.000	UDII, UDIV	7 muestras		42 muestras (34 UDIV, 8 UDII)
9.000-12.000	UDIV	7 muestras a sur de la cuenca		39 muestras

12.000-15.000		2 muestras al este		12 muestras al este
15.000-19.000	UDII, UDIV y UDVIII	1 muestra M-78 UDIV al este		9 muestras (7 UDIV, 1 UDII y 1 UDVIII). 1 muestra M-987 con [Ca^{2+}] elevada tomada en la UDIV

En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), las muestras de la UDIV (triángulos azul claro en la Figura 80a) muestran una composición compatible con un proceso de mezcla que enriquece el bicarbonato, mientras que las muestras de la Laguna de Píritu (cruces azules claro en la Figura 80a) presentan valores de bicarbonato superiores a los del agua marina, sugiriendo la ocurrencia de intercambios iónicos. En el intervalo de profundidad 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros), solo una muestra presenta una composición similar al agua marina; las demás muestras tienen concentraciones relativas de bicarbonato y calcio superiores a las de intervalos más someros. Por el contrario, en el intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), la concentración de calcio es inferior a los demás niveles. En el nivel de profundidad de 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros), las muestras de formaciones equivalentes a la UDII y UDIV, podrían estar interactuando con su litología de caja, posiblemente con lignito o materia carbonácea, adquiriendo iones carbonato (Tabla 24).



a)



b)

Figura 80. Gráfico de concentraciones de calcio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Oriental de acuerdo con los rangos de concentración descritos por Custodio y LLamas (1976) y Kharaka y Harnor (2003). a) escala hasta 6.000meq/L Ca y 400 meq/L de HCO_3^-y, b) escala hasta 200 meq/L Ca y 120 meq/L de HCO_3^-. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar.

Bicarbonato y magnesio

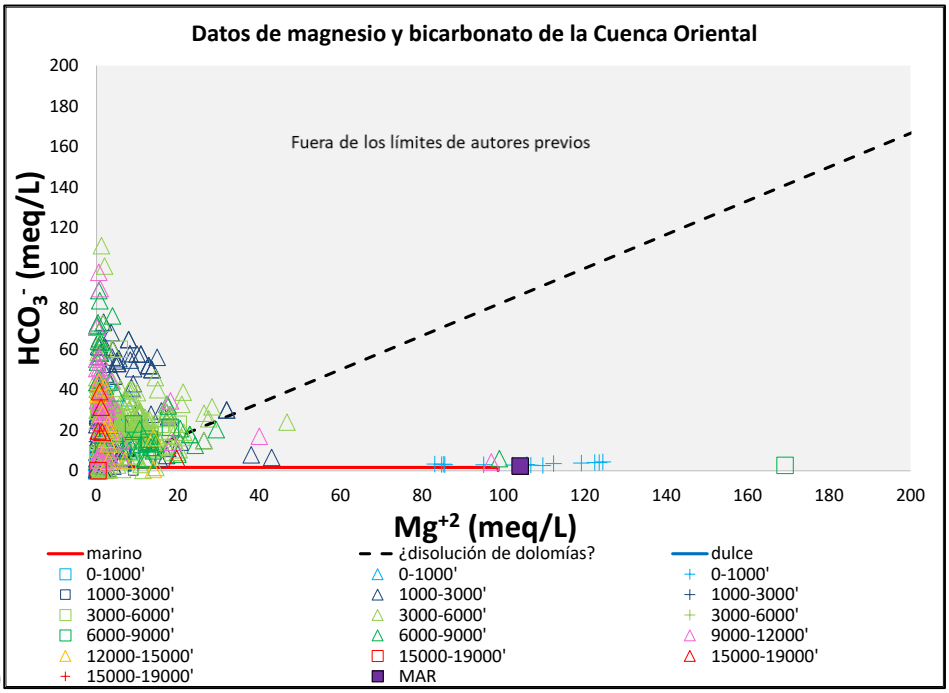
Los 507 datos utilizados en este análisis, a partir de la relación Mg^{2+}/HCO_3^- fueron subdivididos por profundidad y se resumen en la Tabla 33 y en la Figura 81. La mayoría de las muestras independiente de la profundidad a la que fueron tomadas tienen concentraciones que se encuentran fuera de los rangos conocidos por Custodio y LLamas (1976) y De Sousa (2006).

Tabla 33. Resumen de la relación molar Mg^{2+}/HCO_3^- en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	Aguas dulces	Mezcla	Aguas marinas	Fuera de los intervalos de concentración característicos de un tipo de agua
0-1.000	UDII, UDIV y UDVIII	7 muestras de la UDII y UDIV			41 muestras, de las cuales 14 de ellas se ubican en la Laguna de Píritu
1.000-3.000		23 muestras (22 UDIV, 1 UDVIII)	6 muestras de la UDIV en la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías"	1 muestra M-324 tomada en la UDII en la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías"	112 muestras (111 UDIV, 1 UDVIII)
3.000-6.000		22 muestras (20 UDIV y 2 UDII)	2 muestras de la UDIV	2 muestras de la UDIV al este	176 muestras (162 UDIV, 12 UDII, 2 UDVIII)
6.000-9.000	UDII, UDIV	3 muestras 1 UDII y 2 UDIV			45 muestras (36 UDIV y 9 UDII). Muestra M-77 con $[Mg^{2+}]$ relativamente superior.

9.000-12.000	UDIV	11 muestras			34 muestras
12.000-15.000		3 muestras al este	1 muestra M-17 al este		10 muestras
15.000-19.000	UDII, UDIV y UDVIII				8 muestras (6 UDIV, 1 UDII y 1 UDVIII). M-987 con [Mg^{2+}] muy elevada.

En el intervalo somero de profundidad (0-1.000 pies o ~0 a 300 metros), las muestras de la Laguna de Píritu (cruces azul claro, Figura 81) presentan una concentración catiónica total superior a la del agua marina, mientras que las muestras de la UDIV muestran un enriquecimiento relativo en bicarbonato, patrón que se mantiene hasta los 6.000 pies de profundidad. Por debajo de 6.000 pies (~2.000 metros), se distinguen dos grupos: uno con baja concentración de magnesio (óvalo de color amarillo en la Figura 81b) y otro donde el bicarbonato y magnesio muestran correlación entre ellos (óvalo de color azul en la Figura 81b). Se excluyen de esta tendencia la muestra M-987, con alta concentración de magnesio y bajo bicarbonato, y la muestra M-217, que presenta la máxima concentración de bicarbonato de la cuenca, pero bajo contenido de magnesio. Finalmente, se confirma que la concentración de magnesio disminuye progresivamente con la profundidad.



a)

b)

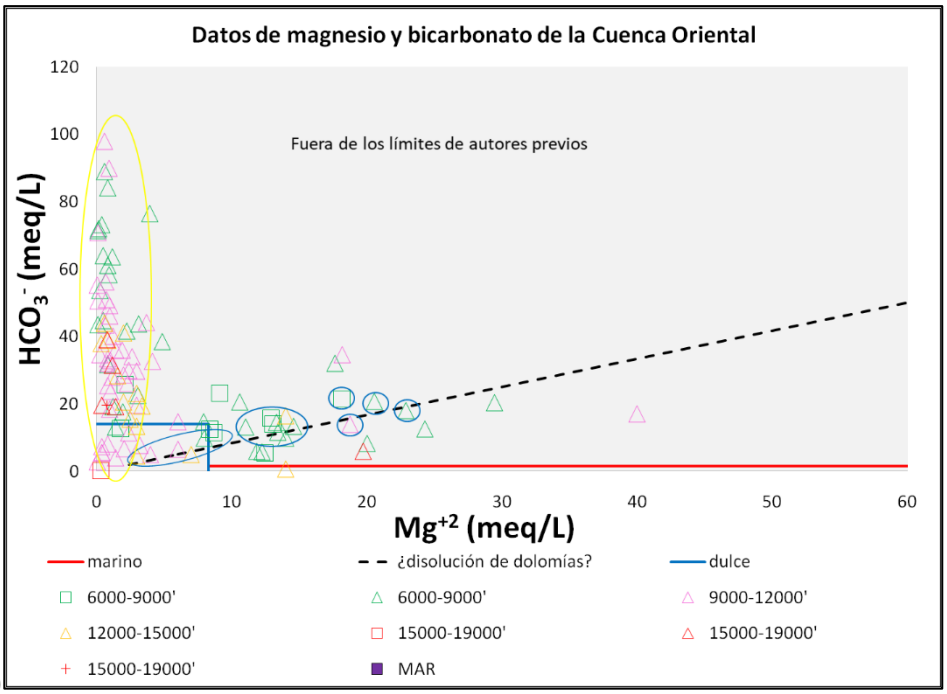


Figura 81. Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Oriental. a) escala hasta 200 meq/L Mg^{2+} y 200 meq/L de HCO_3^- y, b) muestras tomadas en una profundidad mayor a 6.000 pies y una escala hasta 60 meq/L Mg^{2+} y 120 meq/L de HCO_3^- de acuerdo con los límites propuestos por Custodio y LLamas (1976) y De Sousa (2006). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar.

Bicarbonato y sulfato

El ion sulfato generalmente se relaciona con la presencia de agua marina o disolución de minerales en ambientes evaporíticos, y por lo tanto su concentración suele mantener una relación inversa con la del bicarbonato, que generalmente se relaciona con aguas de intercambio iónico o meteóricas. Adicionalmente, las concentraciones de sulfato en la cuenca no son superiores a ~400 meq/L en ninguno de los casos. Las 419 muestras evaluadas se grafican en la Figura 82, se observa que existe:

- Altas concentraciones de sulfato en las muestras en el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), tomadas en la UDVIII de la Laguna de Píritu (cruces de color azul claro en la Figura 82), posiblemente indicativo de un proceso de mezcla con aerosol marino o influencia antrópica.

- En el intervalo de profundidad de 12.000 a 19.000 pies (~4.000 a 6.500 metros), las muestras se encuentran en el rango de las concentraciones esperadas para agua dulce en el ion HCO_3^-.

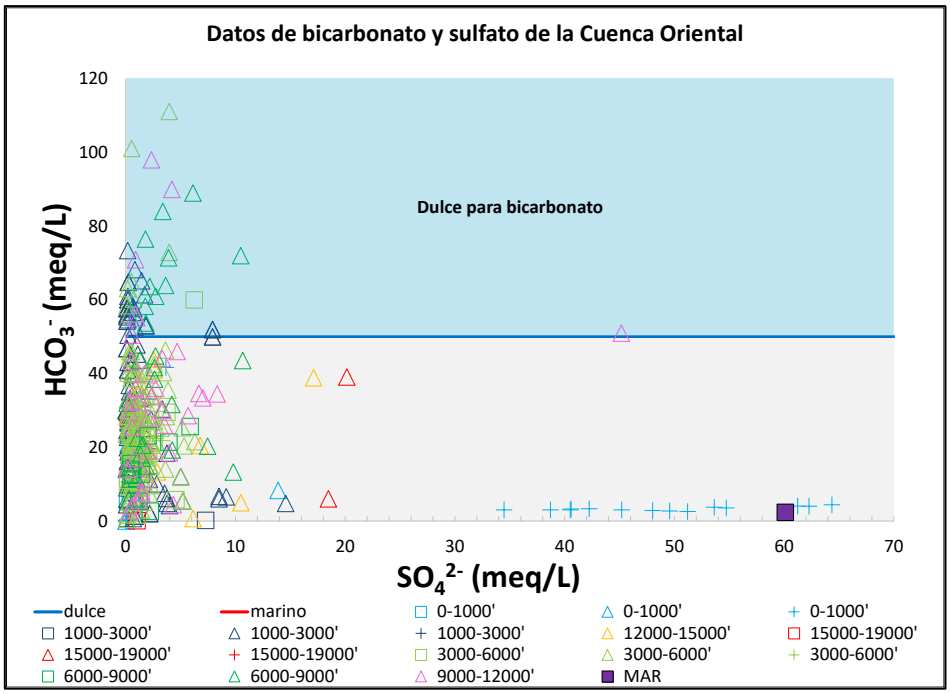


Figura 82. Gráfico de concentraciones de sulfato con relación a bicarbonato de las muestras de agua de la Cuenca Oriental. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar.

Sulfato

La concentración de sulfato suele ser elevada en ambientes con una alta tasa de evaporación donde existe un enriquecimiento relativo del ion, de lo contrario, suele encontrarse en relaciones específicas que se mantienen desde el agua de mar (Kharaka y Harnor, 2003). Sin embargo, en la relación $MgSO_4$ es menos probable un enriquecimiento relativo por evaporación, principalmente por la baja ocurrencia de los minerales thenardita y epsomita.

Sulfato y calcio

Los 422 datos utilizados en este análisis, a partir de la relación Ca^{2+}/SO_4^{2-} se explican en la Tabla 34 y se muestran en la Figura 83 con relación a la profundidad a la que fueron tomadas las muestras. Las mayores concentraciones de sulfato en meq/L son de 65 y se asocian a la laguna de Píritu, en las cuales es posible la mezcla con aerosol marino y/o contaminación antrópica.

Tabla 34. Resumen de la relación molar Ca^{2+}/SO_4^{2-} en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	$Ca^{+2}/SO^{-4}>1$	Relación 1:1	$Ca^{+2}/SO^{-4}<1$
0-1.000	UDII, UDIV y UDVIII	7 muestras (3 UDII, 3 UDIV, 1 UDVIII)	3 muestras: M-74, M-91y M-396 UDVIII	28 muestras, de las cuales 13 se encuentran en la Laguna de Píritu.

1.000-3.000		90 muestras (88 UDIV y 2 UDVIII)	8 muestras: M-324, M-805, M-646, M-820, M-811, M-773, M-374 y M-670 UDII y UDIV	25 muestras UDIV
3.000-6.000		151 muestras (136 UDIV, 13 UDII y 2 UDVIII)	2 muestras M-991 y M-770 en UDIV	13 muestras (12 UDIV, 1 UDII)
6.000-9.000	UDII, UDIV	26 muestras (17 UDIV, 9 UDII)	1 muestra M-656 UDIV	13 muestras (12 UDIV, 1 UDII)
9.000-12.000	UDIV	21 muestras al este	4 muestras UDIV al este M-377, M-326, M-357 y M-984	12 muestras al este
12.000-15.000		9 muestras al este		3 muestras al este
15.000-19.000	UDII, UDIV y UDVIII	5 muestras (4 UDIV, 1 UDVIII)		2 muestras (1 UDIV y 1 UDII)

Dieciocho de las muestras tienen una relación de calcio sulfato 1:1 o cercana, que podría deberse a la disolución de yeso o anhidrita o a la oxidación de pirita; señalada para muestras tomadas en las formaciones geológicas asociadas a la UDII, UDIV y UDVIII (Tabla 24).

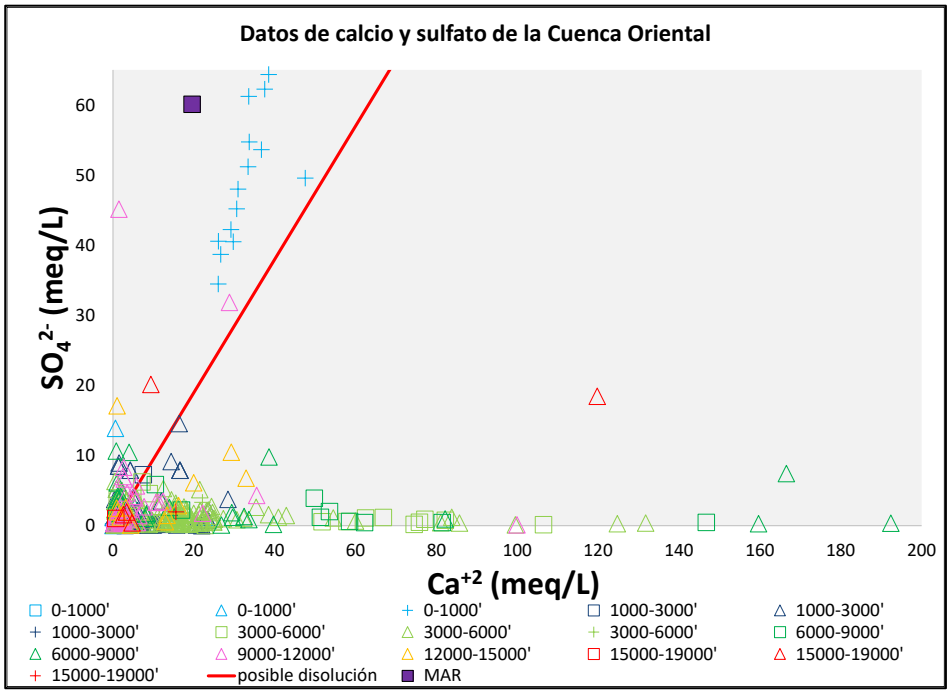


Figura 83. Gráfico de concentraciones de calcio con relación a sulfato de las muestras de agua de la Cuenca Oriental. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. La línea de color rojo es indicativa de una relación molar 1:1 entre calcio y sulfato, que podría correlacionarse con la disolución de yeso y/o anhidrita. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar.

Sulfato y Magnesio

Los 418 datos utilizados en este análisis, a partir de la relación Mg^{2+}/SO_4^{2-} fueron subdivididos por profundidad y se resumen en la Tabla 35 y en la Figura 84. Una relación 1:1 sería esperada para aguas que se han equilibrado con minerales como la epsomita, poco común. La concentración de magnesio en la mayoría de las muestras suele ser inferior a 40 meq/L.

Tabla 35. Resumen de la relación molar Mg^{2+}/SO_4^{2-} en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	$Mg^{+2}/SO^{-4}>1$	Relación 1:1	$Mg^{+2}/SO^{-4}z1$
0-1.000	UDII, UDIV y UDVIII	19 muestras, 14 de las cuales son de la Laguna de Píritu	2 muestras M-16 y M-998 de la UDVIII y UDII	19 muestras (12 UDVIII y 7 UDIV)
1.000-3.000		89 muestras (88 UDIV, 1 UDII)	1 muestra M-810 UDIV Guárico	34 muestras (32 UDIV y 2 UDVIII)
3.000-6.000		143 muestras (131 UDIV, 10 UDII y 2 UDVIII)	2 muestras M-316 y M-4 de la UDII y UDIV al sur	18 muestras (14 UDIV y 4 UDII)
6.000-9.000	UDII y UDIV	25 muestras (17 UDIV y 9 UDII) se diferencia M-228		15 muestras (14 UDIV, 1 UDII)
9.000-12.000	UDIV	13 muestras, se diferencia M-754		23 muestras
12.000-15.000		5 muestras. se diferencia M-17	1 muestra M-24 al este UDIV	6 muestras
15.000-19.000	UDII, UDIV y UDVIII	1 muestra M-113 UDIV	1 muestra M-28 al este UDIV	5 muestras (3 UDIV, 1 UDII y 1 UDVIII)

En siete muestras se reconoció una relación cercana a 1 entre sulfato y magnesio, que podría indicar disolución de algún sulfato de magnesio como la epsomita.

En contraste con lo anterior, para el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) las muestras en la Laguna de Píritu (cruces de color azul claro, en la Figura 84) tienen una concentración de magnesio relativamente alta, con una relación entre 1,9 y 2,4 para magnesio y sulfato. Al considerar el posible origen de estas concentraciones, se considera el aporte antrópico el más probable y/o la mezcla con agua de mar. También es posible una contribución orgánica, considerando que los ambientes de laguna son propicios para la acumulación de materia orgánica.

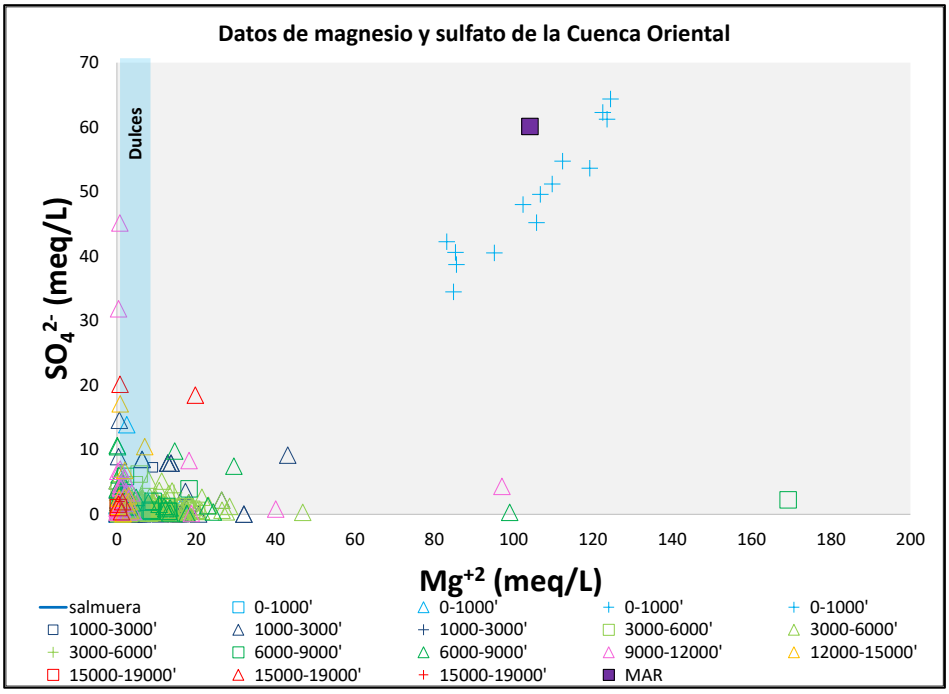


Figura 84. Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a sulfato de las muestras de agua de la Cuenca Oriental, de acuerdo con el límite de agua dulce propuesto para magnesio en (Davis & De Wiest, 1971). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El tipo de símbolos se relacionan con las UD con la cual se podrían asociar las formaciones geológicas: UDII con cuadrado, a la UDIV con triángulo, y UDVIII con más. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar.

Sodio y potasio

El origen del sodio disuelto en agua suele provenir del agua de mar o de la disolución de minerales como halita o en aguas meteóricas. Por su parte, el potasio proviene mayoritariamente de procesos de intercambio roca-agua en ambientes meteóricos o de alteración hidrotermal. Sin embargo, una limitación analítica frecuente es que los métodos fisicoquímicos convencionales suelen reportar una concentración combinada de sodio y potasio, lo que reduce significativamente la cantidad de datos individuales disponibles y restringe la representatividad de los intervalos de profundidad muestreados.

Los 110 datos utilizados en este análisis, a partir de la relación K^+/Na^+ fueron subdivididos por profundidad y se resumen en la Tabla 36 y en la Figura 85. En el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) las muestras en la Laguna de Píritu (cruces de color azul) se encuentran en una tendencia lineal por debajo de la zona de concentraciones esperadas para muestras con la misma relación que el agua de mar, se podría relacionar con un aporte adicional de potasio desde una fuente antrópica. En el intervalo de profundidad de 1.000 a 6.000 pies (~300 a 2.000 metros) cuando la concentración de potasio es inferior a 5 meq/L pareciera existir una correlación entre sodio y potasio, mientras que en otros casos la concentración de sodio se eleva. En el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros) la muestra M-69, tiene una concentración de potasio de 28 meq/L, alta en relación con el resto de las muestras; ello podría ser el resultado de la interacción roca-agua con minerales como ilita u ortosa considerando que fue tomada en un rango de temperatura entre 80 y 90°C.

Tabla 36. Resumen de la relación molar K^+/Na^+ en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	Aguas marinas	Aguas dulces
0-1.000	UDII, UDIV y UDVIII		25 muestras, 14 de ellas ubicadas en la Laguna de Píritu
1.000-3.000	UDIV y UDVIII	11 muestras UDIV en la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías”	52 muestras (51 UDIV, 1 UDVIII) en la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías”
3.000-6.000	UDIV		9 muestras cercano o en la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías”
6.000-9.000	UDII y UDIV		4 muestras (3 UDIV y 1 UDII) al este
9.000-12.000	UDIV		7 muestras al oeste de la Falla de Urica
12.000-15.000	UDIV		1 muestra M-953 UDIV al este
15.000-19.000	UDVIII		1 muestra M-144 al este

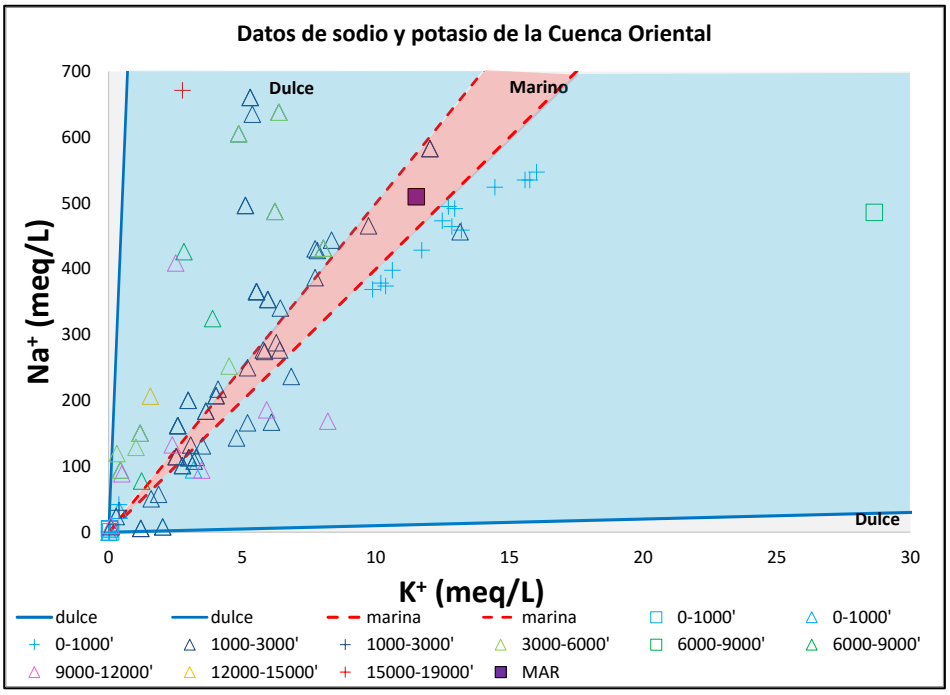


Figura 85. Gráfico de concentraciones de potasio con relación a sodio de las muestras de agua de la Cuenca Oriental, de acuerdo con las concentraciones esperadas sugeridas por De Sousa (2006) Kharaka y Harnor (2003) y Vásquez Castro (1998). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar.

Calcio y magnesio

Los 511 datos de la relación Mg^{2+}/Ca^{2+}, clasificados por profundidad y resumidos en la Tabla 37 y Figura 86, de acuerdo con Kharaka y Harnor (2003) y De Sousa (2006), revelan que las muestras de la Laguna de Píritu presentan valores de la relación Mg^{+2}/Ca^{+2} superiores a 1,5 meq/L y cercanía al punto de agua de mar, sugiriendo mezcla con agua de mar o aerosol marino, coherente con tendencias iónicas previas, además de concentrar los niveles más altos de ambos iones en superficie. La homogeneidad composicional por intervalo es dominante, con excepciones como M-85 (1000-3000 pies), M-665 (12.000-15.000 pies) y M-28 (15.000-19.000 pies) donde la concentración de calcio es notablemente superior. Entre 1000-9000 pies, relaciones cercanas a 1 podrían reflejar procesos de dilución de minerales como dolomita, mientras que en la UDII se mantienen concentraciones de calcio consistentemente superiores a las de otras unidades depositacionales para iguales profundidades. Globalmente, no se observa un incremento progresivo de las concentraciones de magnesio y calcio con la profundidad.

Tabla 37. Resumen de la relación molar Mg^{+2}/Ca^{+2} en las muestras de la Cuenca Oriental por profundidad.

Intervalo Profundidad (Pies)	UD	$Mg^{+2}/Ca^{+2}<0,3$	$0,3<Mg^{+2}/Ca^{+2}<1,5$	$Mg^{+2}/Ca^{+2}\sim1$	$Mg^{+2}/Ca^{+2}>1,5$
0-1.000	UDII, UDIV y UDVIII	4 muestras 2 UDIV y 2 UDII	21 muestras (16 UDVIII, 4 UDIV, 1 UDII)		23 muestras de las cuales 14 de ellas se ubican en la Laguna de Píritu
1.000-3.000		19 muestras (18 UDIV y 1 UDVIII)	70 muestras (68 UDIV, 1 UDVIII y 1 UDII)	8 muestras UDIV (M-817, M-611, M-784, M-669, M-97, M-109, M-677 y M-372)	48 muestras UDIV
3.000-6.000		44 muestras (35 UDIV y 9 UDII)	121 muestras (114 UDIV, 5 UDII, 2 UDVIII)	12 muestras UDIV (M-235, M-227, M-977, M-506, M-508, M-759, M-765, M-581, M-585, M-593, M-530 y M-239)	25 muestras UDIV
6.000-9.000	UDII y UDIV	18 muestras (11 UDIV, 7 UDII)	26 muestras (25 UDIV y 1 UDII)	1 muestra M-70 UDIV al este	3 muestras (2 UDII y 1 UDIV)
9.000-12.000	UDIV	17 muestras	26 muestras		3 muestras
12.000-15.000		8 muestras al este	5 muestras al este		1 muestra M-989
15.000-19.000	UDII, UDIV y UDVIII	6 muestras al este	2 muestras M-53 y M-667 UDII y UDIV		

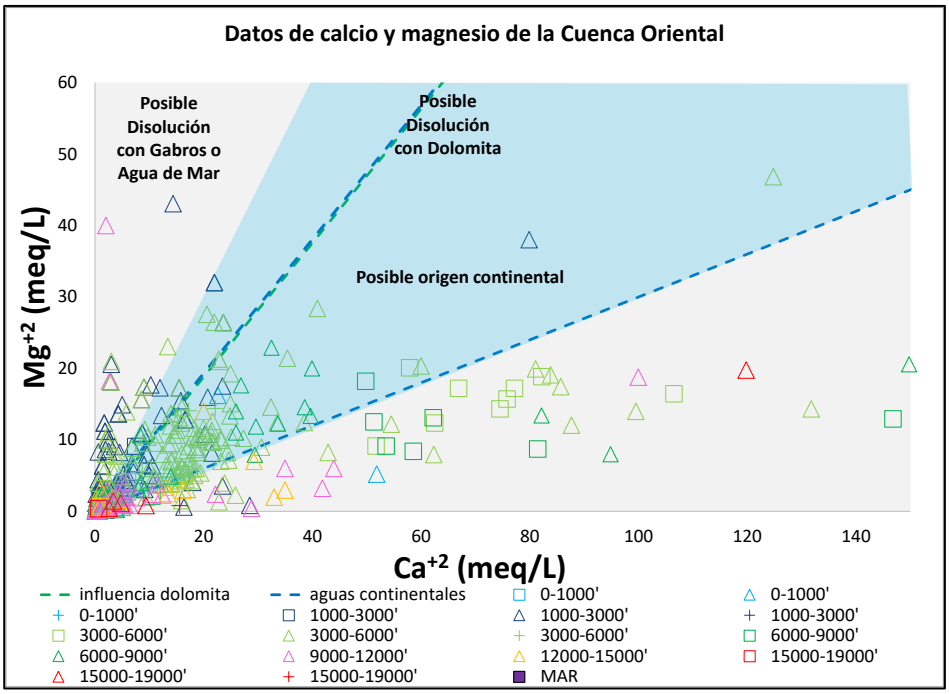


Figura 86. Gráfico de concentraciones de calcio con relación a magnesio de las muestras de agua de la Cuenca Oriental, de acuerdo con Kharaka y Harnor (2003) y De Sousa (2006). Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. El cuadrado de color morado representa una muestra de agua de mar.

En resumen y a partir del comportamiento individual de las 527 muestras de la Cuenca Oriental en su relación interiónica se pudieron discretizar en 4 grupos (Figura 87): aguas dulces (170), aguas de mezcla (101), aguas connatas (119) y aguas connatas diluidas a muy diluidas (137). En general, aunque las muestras están discretizadas en los cuatro mega grupos, internamente suele tener variaciones en el o los iones mayoritarios de la muestra. Por ejemplo, para la clasificación de agua dulce pueden estar enriquecidas en calcio, magnesio o sulfatos, en relación con el resto de las muestras en esa clasificación. Y en particular las muestras de la Laguna de Píritu se clasificaron como aguas de superficie marinas, considerando que no tiene la composición de aguas meteóricas, pero tampoco el tiempo de depositación de las aguas connatas.

Desde el punto de vista de la distribución geoespacial. Las muestras de agua clasificadas como connatas o afines se ubican preferencialmente en el noroeste y al noreste. Las muestras de agua clasificadas como dulces se encuentran a nivel superficial y/o adyacentes a fallas mayores que pueden funcionar como vías de migración. Por último, las muestras tomadas en la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías” presentan variabilidad en la composición, desde aguas connatas, de mezclas a dulces.

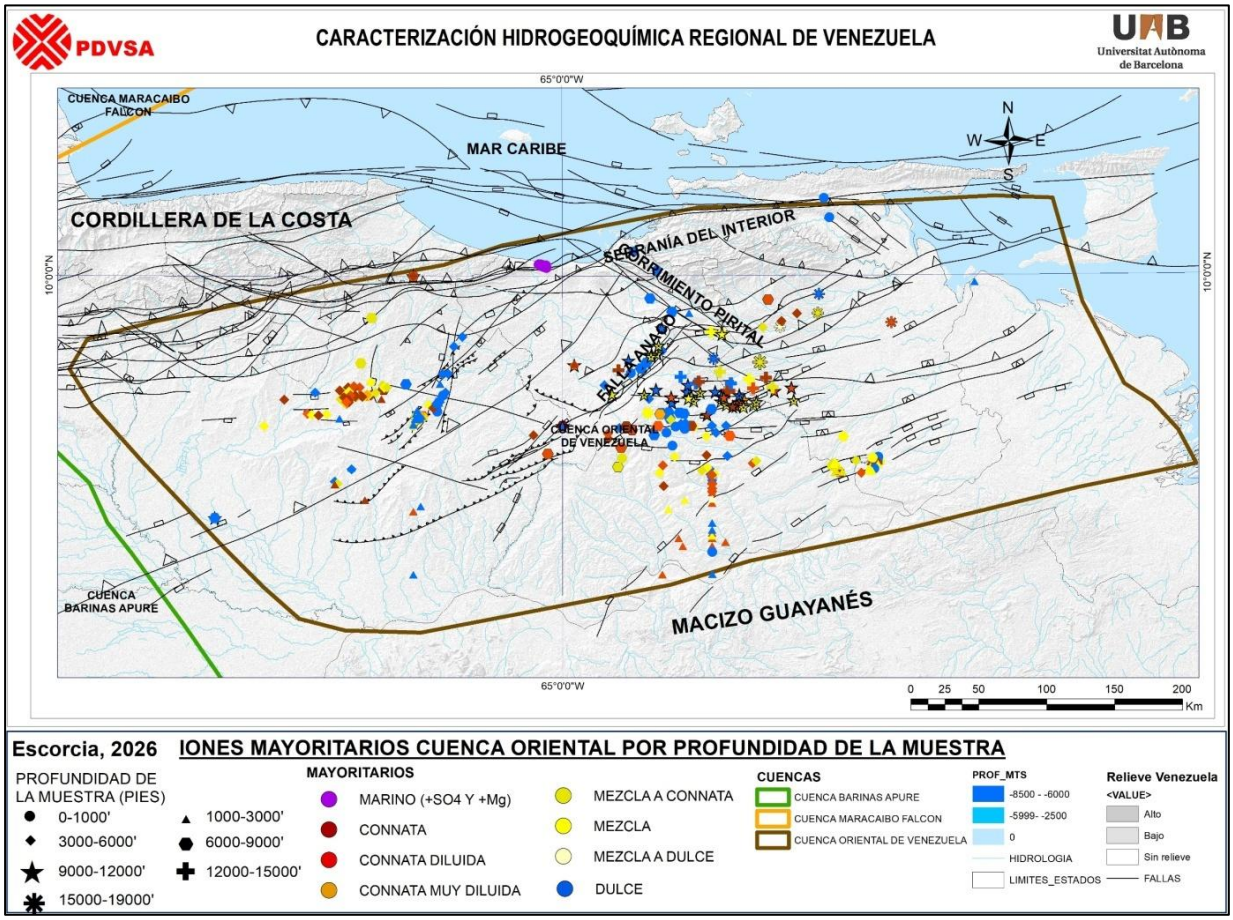


Figura 87. Resumen de las características observadas en las relaciones interelementales de la Cuenca Oriental con la ubicación geográfica y en relación con las redes hidrográficas y elementos

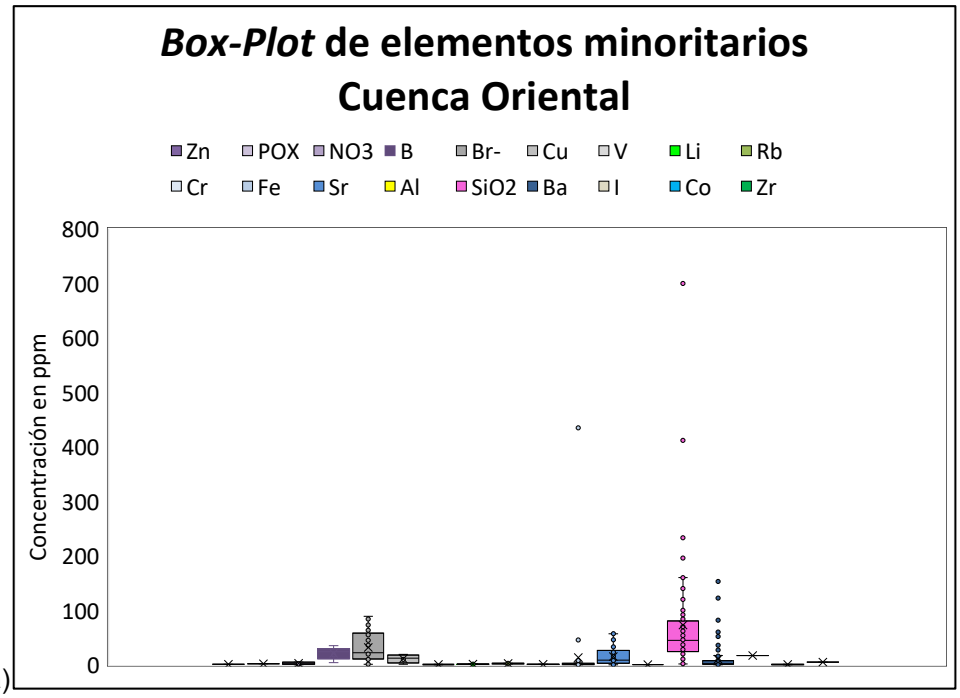
estructurales. En color rojo a naranja las aguas connatas, en color verde las aguas de mezclas y en color azul las aguas dulces. La forma de los símbolos indica el intervalo de profundidad a la cual fue tomada la muestra.

Elementos minoritarios

Los iones minoritarios con análisis disponibles fueron nitratos, hierro, sílice, bromo, boro, estroncio, aluminio, cobre, litio, rubidio, para la mayoría de las muestras. Y zinc, fosfatos, níquel, plomo, antimonio, selenio, vanadio, azufre, arsénico, cromo, iodo, bismuto, cobalto, zirconio y bario para dos muestras entre 1.000 y 3.000 pies. La Tabla 38 contiene la volumetría con dato hidrogeoquímico por ion minoritario y por rango de profundidad a la cual fue tomada la muestra. La Figura 88 es un gráfico de cajas y bigotes con las concentraciones en ppm de los iones minoritarios estimados en las muestras de agua.

Tabla 38. Resumen de las muestras con datos hidrogeoquímicos disponible por ion minoritario y por rango de profundidad en el cual fue tomada la muestra en la Cuenca Oriental.

		Número de muestras con dato reportado del Ion minoritario																								
		nitrato	boro	bromuro	cobre	litio	rubidio	hierro	estroncio	aluminio	sílice	bario	zinc	fosfatos	iodo	azufre	arsénico	bismuto	cobalto	cromo	níquel	plomo	antimonio	selenio	vanadio	zirconio
Rango de profundidad (pies)	0-1.000	4		6		1		16	6		21	6														
	1.000-3.000	1	5	41	3	12	3	8	43		6	58	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3.000-6.000				1			9	4		11	17							1	1					1	
	6.000-9.000							3		1	5	5														
	9.000-12.000							8			5	5														
	12.000 - 15.000							1			3	4														
	15.000 - 19.000										5	6		1												
	Total	**5**	**5**	**47**	**4**	**13**	**3**	**45**	**53**	**1**	**56**	**101**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**2**	**2**	**1**	**1**	**1**	**1**	**2**	**1**



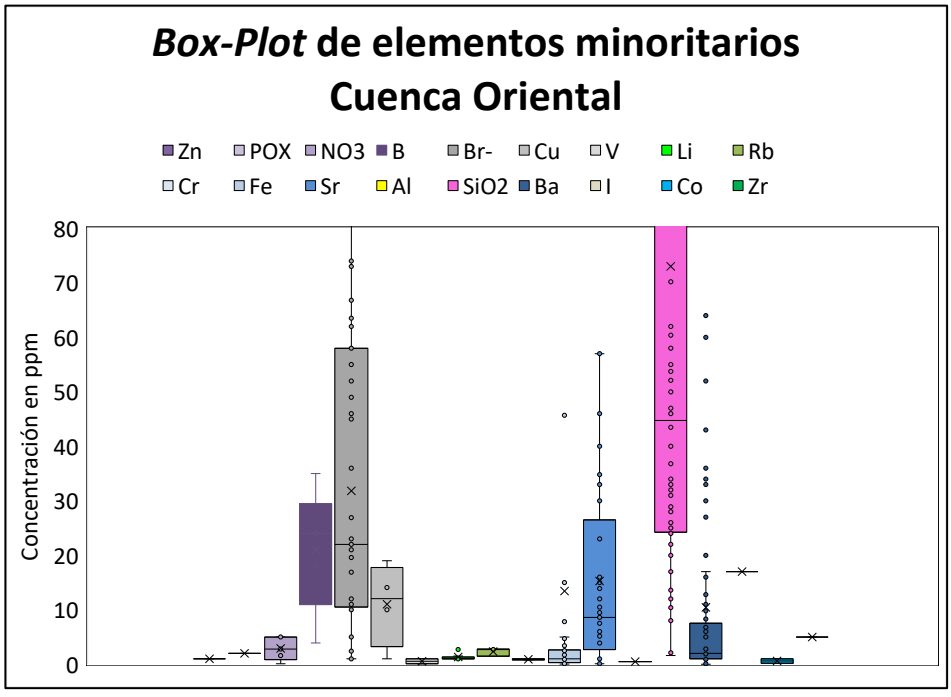


Figura 88. Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes para la Cuenca Oriental de la concentración en mg/L de los iones minoritarios analizados en las muestras de agua. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). a) escala de concentración de 0 a 800 ppm y b) escala de concentración de 0 a 80 ppm.

- Se evaluaron indicadores de actividad antrópica tomando como referencia los límites establecidos para el consumo humano por la Organización Mundial de la Salud (Vitoria, *et al.*,

2015) para metales y otros constituyentes en agua. Concentraciones elevadas de zinc (>3 mg/L), fosfatos (>0,1 mg/L), níquel (>0,1 mg/L), plomo (>0,01 mg/L), antimonio (>0,005 mg/L), selenio (>0,04 mg/L), nitratos (>50 mg/L) y boro (>2,4 mg/L) se asocian comúnmente con impacto antropogénico en el sistema hídrico. El análisis de los datos disponibles para la Cuenca Oriental muestra que ninguna de las muestras supera estos umbrales de concentración.

- Se identificaron posibles evidencias de actividad orgánica a partir de registros anómalos de elementos traza. En superficie, una muestra de la UDII podría reflejar condiciones reductoras locales o aproximarse al límite de detección analítica. En la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías", cuatro muestras con registro de boro y una de cobre aparecen en rangos compatibles con ambientes reductores, aunque también podrían asociarse al uso de lodos de perforación en la zona. Adicionalmente, ocho muestras presentan concentraciones de bromuro típicas de ambientes reductores, pero su relación con cloruros (Figura 78) no muestra enriquecimiento relativo de bromuros. Cabe destacar que, si bien los datos de bromuro de este estudio no revelan valores extraordinarios, el estudio de López (2018) reporta en algunas muestras una escasa correlación $Br^{/}Cl^{-}$ junto con elevadas concentraciones de bromuro, lo que podría atribuirse a interacción con hidrocarburos en el área.

- Evidencias de un área de meteorización: Las muestras con dato disponible de litio y rubidio en la Cuenca Oriental, que pudieran indicar altas tasas de meteorización, se ubican en la Faja Petrolífera de Orinoco, en el intervalo de profundidad de 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros): 8 de las muestras se encuentran en el límite de detección de acuerdo con el análisis del cual provienen (Barreto, 2017), por lo cual fueron descartadas, 5 de las muestras tienen concentraciones de litio superiores a 1 inferiores a 3 mg/L tomadas en la UDIV y tres de las muestras tienen una concentración de rubidio por encima de los valores de referencia, indicativos de una alta tasa de meteorización.

- Evidencias de cambios en las condiciones de óxido reducción: de acuerdo con los límites descritos en la metodología para los elementos azufre, arsénico, cromo, hierro y estroncio, 78 muestras indican un posible ambiente reductor en el medio para muestras tomadas en la UDII, UDIV y UDVIII en todos los intervalos de profundidad; 52 de ellas ubicadas en la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías". Son cambios mineralógicos que ocurren por cambios en las condiciones de óxido-reducción, en presencia de materia orgánica o no.

- Evidencia de tiempos de residencia: Las posibles interpretaciones de los datos de sílice para la Cuenca Oriental se resumen en la Tabla 39. Las muestras con baja concentración de sílice o bajos tiempos de residencia podrían ser sugerentes de un aporte de aguas dulces, considerando una baja disolución de cuarzo para la temperatura a la cual se encuentran. Las

muestras con concentraciones intermedias de sílice o un tiempo medio de residencia fueron tomadas mayoritariamente en la UDIV. Las muestras con un rango de concentración de sílice indicativo de un largo tiempo de residencia se ubican en la zona norte de la Cuenca Oriental, que podría relacionarse con aguas connatas y que tienen rangos de temperatura elevados. Las aguas termales tienen temperaturas que alcanzan hasta 174°C ubicadas en la zona norte de la cuenca y tomadas mayoritariamente en la UDIV. Finalmente, dos muestras se encuentran en la concentración de sílice representativa de tiempos muy altos de residencia, ambas tomadas en la UDIV y con temperaturas esperadas que se encuentran en el rango que permite la disolución de cuarzo en agua de acuerdo con la constante Kps.

Tabla 39. Resumen de las muestras con datos hidrogeoquímicos disponible de sílice en la Cuenca Oriental de acuerdo su rango de concentración. Baja concentración de sílice <5 ppm; concentración de sílice intermedia de 5 a 30 ppm; alta concentración de sílice 30-60 ppm; muy alta concentración de sílice 60-300 ppm; extremadamente alta concentración de sílice >300 ppm.

		Baja concentración de sílice		Concentración de sílice intermedia		Alta concentración de sílice		Muy alta concentración de sílice		Extremadamente alta concentración de sílice	
		Número de muestras	Temperatura (°C)	Número de muestras	Temperatura (°C)	Número de muestras	Temperatura (°C)	Número de muestras	Temperatura (°C)	Número de muestras	Temperatura (°C)
Rango de profundidad (pies)	0-1.000			4 (UDVIII)	22-28	11 (UDVIII)	24-35	2 (UDVIII)	34		
	1.000-3.000			4 (UDIV)	40-50			2 (UDIV)	31-36		
	3.000-6.000	1(UDIV)	~50	4 (UDIV)	50-70	3 (UDIV)	60-120	2 (UDIV)	50-70	1 (UDIV)	52
	6.000-9.000			1 (UDIV)	65	4 (UDIV)	45-140				
	9.000-12.000					1 (UDIV)	120	4 (UDIV)	93-118		
	12.000-15.000	1(UDIV)	140					2 (UDIV)	95-125		
	15.000-19.000			1(UDIV)	131			3 (UDIV)	100-180	1 (UDIV)	182

- Evidencias de interacción roca-agua: En un rango de profundidad entre 0 y 1.000 pies (~0 a 300 metros) las concentraciones están alrededor de 1 mg/L. En el intervalo de profundidad del 1.000 a 6.000 pies las concentraciones son de 0,17 a 153 mg/L, tomadas en la UDIV, que pudieran ser indicativos de disolución de minerales o también por contaminación de la muestra por lodo de perforación. En el rango de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros) en muestras de la UDIV las concentraciones van de 0,002 a 3,49 mg/L, inferiores a los intervalos previos. En el intervalo de profundidades 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros) las muestras fueron tomadas en la UDIV y las concentraciones son ligeramente superiores al intervalo superior. El rango de profundidad entre 12.000 y 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros)

tiene una muestra con 122 mg/L como posible indicio de contaminación por lodo. Finalmente, el intervalo de profundidad entre 15.000 y 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros) tiene muestras con bajas concentraciones de bario. Veinte muestras tienen concentraciones superiores a 10 mg/L, 13 de las cuales se ubican en la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías", dentro de los cuales lo más probable es la contaminación de la muestra por lodo de perforación, sobre todo considerando que los crudos en la faja se encuentran emulsionados.

El análisis de elementos mayoritarios permitió identificar diversas condiciones hidrogeoquímicas en el sistema, entre las que destacan ambientes reductores, tiempos de residencia variables, desde bajos hasta extremadamente largos, procesos de alta meteorización, influencia de aguas marinas y posible precipitación o contacto directo con minerales como la halita. A continuación, se resumen las características principales por intervalo de profundidad:

- **0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros)**: Se identifican muestras de aguas termales, con temperaturas superiores a las esperadas para su profundidad. La concentración de sílice varía de media a muy alta, lo que podría asociarse a tiempos de residencia medios a muy largos o a un proceso de alteración hidrotermal. En algunos casos, se observan condiciones reductoras y variaciones en la relación bromuro/cloruro, sugiriendo posible precipitación de halita o influencia de agua de mar. Seis de las muestras se ubican al norte cerca de elementos estructurales como la Falla del Pilar y las muestras al sureste se encuentran al este de la Falla de Anaco.

- **1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros)**: Se distinguen cuatro características principales: (1) ambientes reductores con aumento de cloruros, posiblemente por contacto con halita; (2) temperaturas anómalas en condiciones reductoras, con tiempos medios de residencia, alta meteorización y posible precipitación de halita; (3) relación bromuro/cloruro similar al agua de mar; y (4) altas concentraciones de silicio, posiblemente asociadas a tiempos de residencia muy largos.

- **3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros)**: Las diferencias principales se relacionan con el contenido de sílice, que sugiere un rango de tiempos de residencia desde bajos hasta extremadamente largos. En este último caso, las muestras presentan temperaturas superiores a las esperadas para su profundidad.

- **6.000 a 12.000 pies (~2.000 a 4.000 metros)**: Se identifican concentraciones de sílice de media a alta, vinculadas a tiempos de residencia medios a largos. En las muestras de mayor tiempo de residencia, se registran temperaturas anómalas.

- **12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros)**: Se observan variaciones en la concentración de sílice, con tres muestras que presentan valores entre bajos y muy altos. La muestra M-923,

con bajo tiempo de residencia, podría explicarse por migración de fluidos a través de fallas activas, como la Falla de Urica.

- **15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros)**: Se confirma un incremento en los contenidos de sílice y, consecuentemente, en los tiempos de residencia. Además, se identifican aguas con temperaturas superiores al gradiente térmico normal, clasificadas como termales.

Estos resultados reflejan la complejidad de los procesos hidrogeoquímicos en el área de estudio, donde interactúan condiciones redox, tiempos de residencia variables y procesos de interacción agua-roca en función de la profundidad.

V. 3. 3 Concentraciones de sodio y cloro y clasificación de Sulin (1946)

El análisis de los datos disponibles con un balance iónico con error inferior al 10% indica que la relación sodio / cloro en la Cuenca Oriental varía de 0,15 a 75, por lo que siguiendo la clasificación de Sulin (1946): 324 muestras corresponden a agua meteórica (valores de Na^+ superiores a Cl^-), de las cuales 253 pueden ser clasificadas como aguas bicarbonatadas sódicas y 10 son muestras de agua sulfatadas sódicas. Existen también 203 muestras de agua connata (valores de Cl^- superiores a Na^+), de las cuales 123 se clasificaron como muestras de agua clorurada cálcica y 75 como aguas cloruradas magnésicas (Figura 89). Las diferencias se describen por intervalo de profundidad:

- En el intervalo de profundidad de 0-1.000 pies (~0 a 300 metros, datos de color azul claro en la Figura 89) las muestras de aguas connatas fueron tomadas en la UDVIII mayoritariamente, asociadas a la Laguna de Píritu, que son descritas por Ponton Jimenes (2018) como muestras de agua influenciadas por las intrusiones marinas.

- En el intervalo de profundidad de1.000-3.000 pies (~300 a 1.000 metros, datos de color azul oscuro en la Figura 89) similar a lo observado en la clasificación de Hem (1970) se observan las mayores concentraciones en meq/L y se encuentran en la mayoría de los casos, con relaciones Na^+/Cl^- similares al agua de mar. La ubicación geográfica de las muestras incluye el área central y sur de la Cuenca Oriental de Venezuela y la formación geológica asociada es la UDIV.

- En el intervalo de profundidad de 3.000-6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros, datos de color verde claro en la Figura 89) las muestras de aguas connatas están presentes en toda la columna estratigráfica, mientras las aguas meteóricas no están presentes en las muestras de la UDVIII. De igual forma, las aguas connatas coinciden con las aguas salinas y salobres identificadas en la clasificación de Hem (1970).

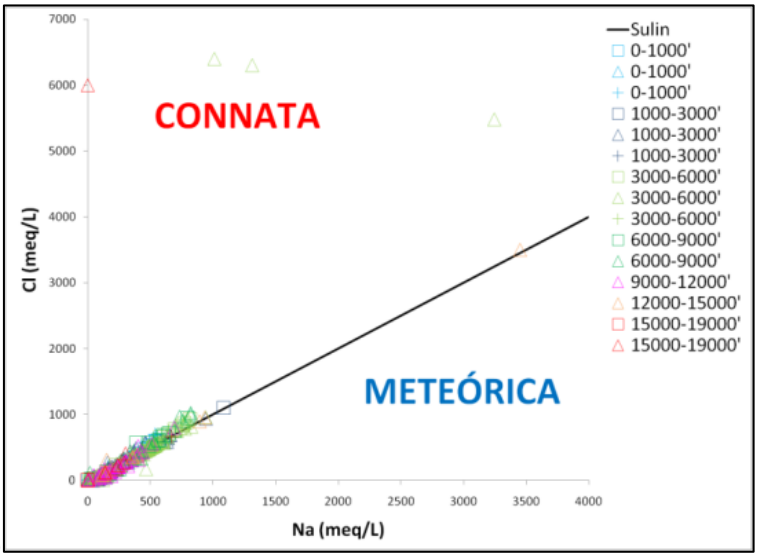
- En el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~4.000 a 5.000 metros, datos de color verde oscuro en la Figura 89) se observan dos tendencias, concentraciones superiores a 400 meq/L tomadas en formaciones equivalentes a la UDII y UDIV. Las muestras con concentraciones superiores de sodio con relación al cloro se asocian preferencialmente a la UDIV y tienen concentraciones inferiores a 400 meq/L que pudieran estar asociadas a una interacción roca-fluido.

- En el intervalo de profundidad de 9.000-12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros, datos de color fucsia en la Figura 89) se encuentran un mayor número de muestras con una relación superior a 1 con concentraciones superiores a sodio. Todas las muestras de este intervalo sólo se tomaron en las formaciones geológicas equivalentes a UDIV.

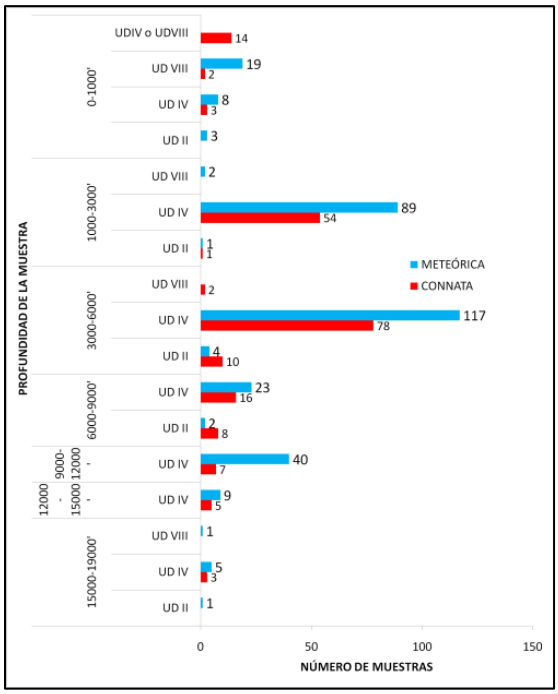
- En el intervalo de profundidad de 12.000-15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros, datos de color naranja en la Figura 89) las muestras de aguas se ubican sobre la línea de división de agua meteórica y connata, todas tomadas en las formaciones geológicas equivalentes a UDIV.

- En el intervalo de profundidad de 15.000-19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros, datos de color rojo en la Figura 89) las muestras analizadas se ubican en los niveles estratigráficos UDII, UDIV y UDVIII. Se observa una concentración superior para las muestras de la UDVIII en relación con la UDIV y UDII.

Es importante recordar que la clasificación de Sulin, (1946) considera las concentraciones en miliequivalentes de los iones sodio y cloro, por lo cual en las muestras donde los iones dejan de ser predominantes, la agrupación no es coherente con el tipo de agua.

a) 

b)



c)

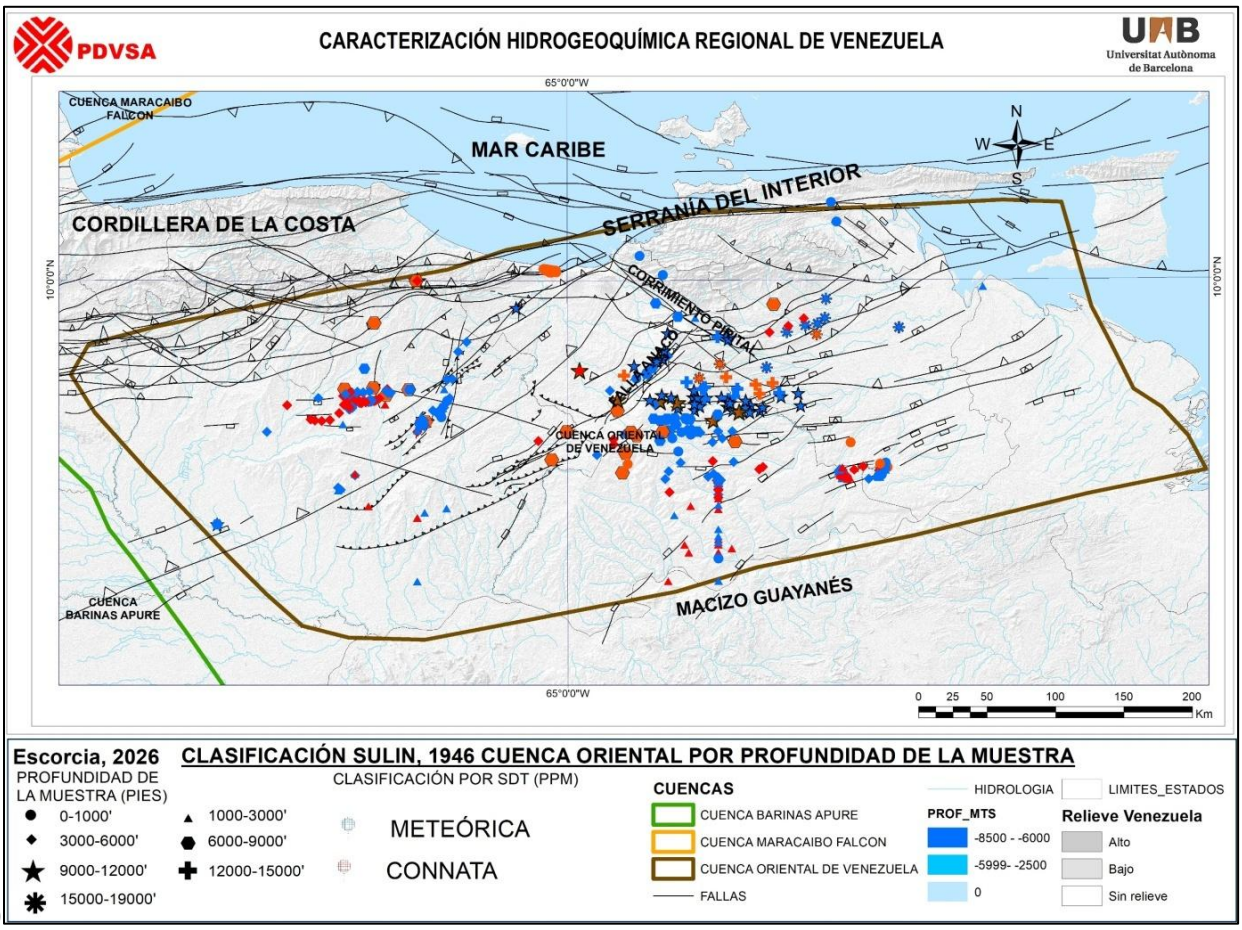


Figura 89. Grupos identificados a partir de la concentración de sodio y cloro de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946). (a) Gráfico de correlación Na^+/Cl^- que diferencia aguas connatas de meteóricas. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. (b) Gráfico de barras del número de muestras de aguas connatas y meteóricas por profundidad y por Unidad

Depositacional y (c) Mapa con la ubicación geográfica y en relación con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Oriental de Venezuela. En color rojo las aguas connatas y en color azul las aguas meteóricas, donde el aporte de sodio desde otras fuentes aumenta el valor de la relación.

V. 3. 4 Diagramas de elementos mayoritarios y la clasificación de Schoeller (1977)

La clasificación de muestras de agua a partir de las concentraciones en meq/L de los cationes y aniones principales de acuerdo con Schoeller (1977), vuelve a dividir los datos en siete grupos (Figura 90). La composición más probable fue clorurada sódica (374 muestras) seguida de las bicarbonatadas sódicas (119 muestras), también se presentan sulfatada sódica (5 muestras). Existen aguas cálcicas en combinación con bicarbonato (7 muestras) y con cloruros (15 muestras). El magnesio se encuentra en menor proporción con bicarbonato (1 muestra) y cloruro (6 muestras). La elevada capacidad de intercambio iónico del sodio en solución favorece su acumulación en las muestras de agua analizadas. Por otra parte, el aporte de rocas carbonáticas a las secciones superiores de la columna sedimentaria en las cuencas estudiadas es limitado, estando estas secciones dominadas principalmente por rocas siliciclásticas.

En base a la profundidad la Unidad Depositacional asociada y la clasificación de Schoeller cabe remarcar las siguientes observaciones:

- Existen muestras cloruradas sódicas en todos los intervalos de muestreo desde 0 a 19.000 pies, las muestras en intervalos superiores se pueden asociar a la presencia de aerosol marino.

- Las muestras cloruradas cálcicas son características de las muestras tomadas en reservorios de la UD II (6.000 a 9.000 pies o ~4.000 a 5.000 metros) y UD IV por lo que es posible el intercambio iónico con minerales que aportan calcio al sistema.

- Las muestras cloruradas magnésicas son muy puntuales en la columna. En formaciones equivalentes a la UDII para las profundidades de 6.000 a 9.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), en las formaciones equivalentes a la UDIV para las profundidades de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros) y en los reservorios de la UDVIII entre 0 y 1.000 pies (~0 a 300 metros).

- En toda la columna sedimentaria muestreada se identificaron aguas bicarbonatadas sódicas. La presencia podría estar relacionada con la influencia de aguas meteóricas de escorrentías en las unidades superiores o por filtración a mayores profundidades a través de los planos de falla pre-existentes. Adicionalmente, se puede relacionar con la influencia de pozos de inyección de agua utilizados en la producción de pozos petroleros.

- La presencia de aguas bicarbonatadas cálcicas se discretiza por profundidad y/o unidad depositacional asociada. Las aguas superficiales de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) fueron tomadas en formaciones asociadas a la UDII y a la UDVIII mientras que las aguas ubicadas desde 1.000 a 6.000 pies (~300 a 2.000 metros) y en el intervalo de profundidad de 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros) fueron tomadas en formaciones asociadas a la UDIV. Las muestras en intervalos más superficiales se pueden explicar por la disolución de minerales carbonaticos en el área o un mayor tiempo de residencia con relación a las bicarbonatadas sódicas, donde el sodio se ha movilizado del sistema.

- Sólo una de las muestras analizadas tiene una composición mayoritaria bicarbonatada magnésica tomada en formaciones equivalentes a la UDIV en el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros). El patrón de las muestras ubicadas en este intervalo indica que es probable la composición por exclusión de calcio en el sistema, ya sea por precipitación de minerales como yeso o por lixiviación del calcio, que conlleva a la sustitución por magnesio. Aspectos que son simulados en el capítulo VII de simulación fisicoquímica (VII. 1. 9 Caso 9. Muestras bicarbonatadas magnésicas por intercambio iónico).

- La composición sulfato sódica tiene presencia puntual en la columna. Ello pudiera dar indicios de actividad de intercambio iónico con los minerales en el medio. El contenido en aguas superiores se puede relacionar con el aporte de agua de mar.

- La mayor diversidad en la composición de las aguas se encuentra en el intervalo de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) lo cual puede estar relacionado con la presencia de aguas meteóricas.

- La concentración de las muestras aumenta con la profundidad, independiente de los iones mayoritarios.

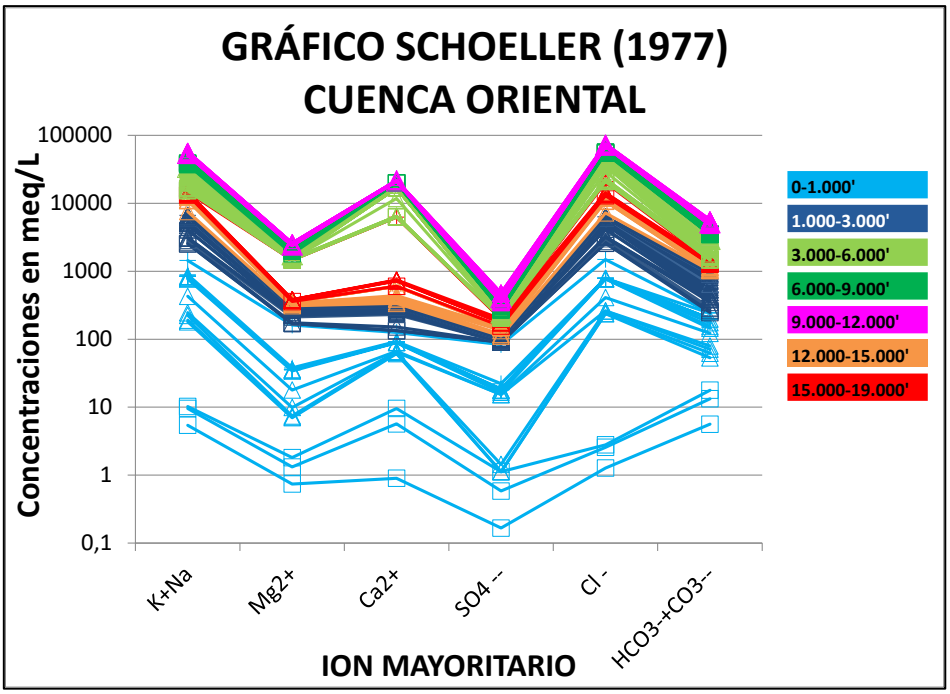
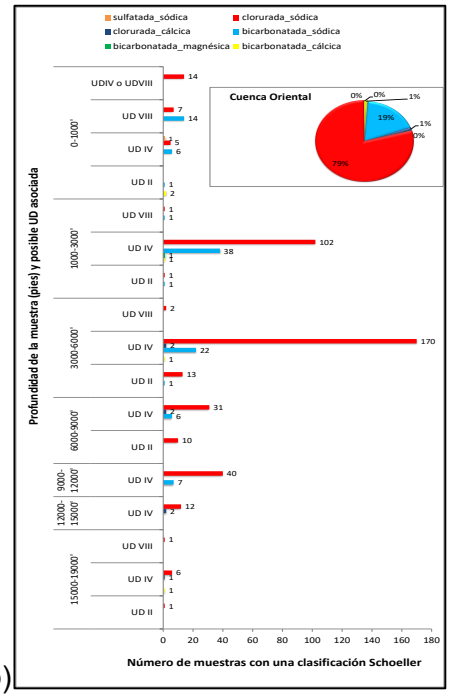
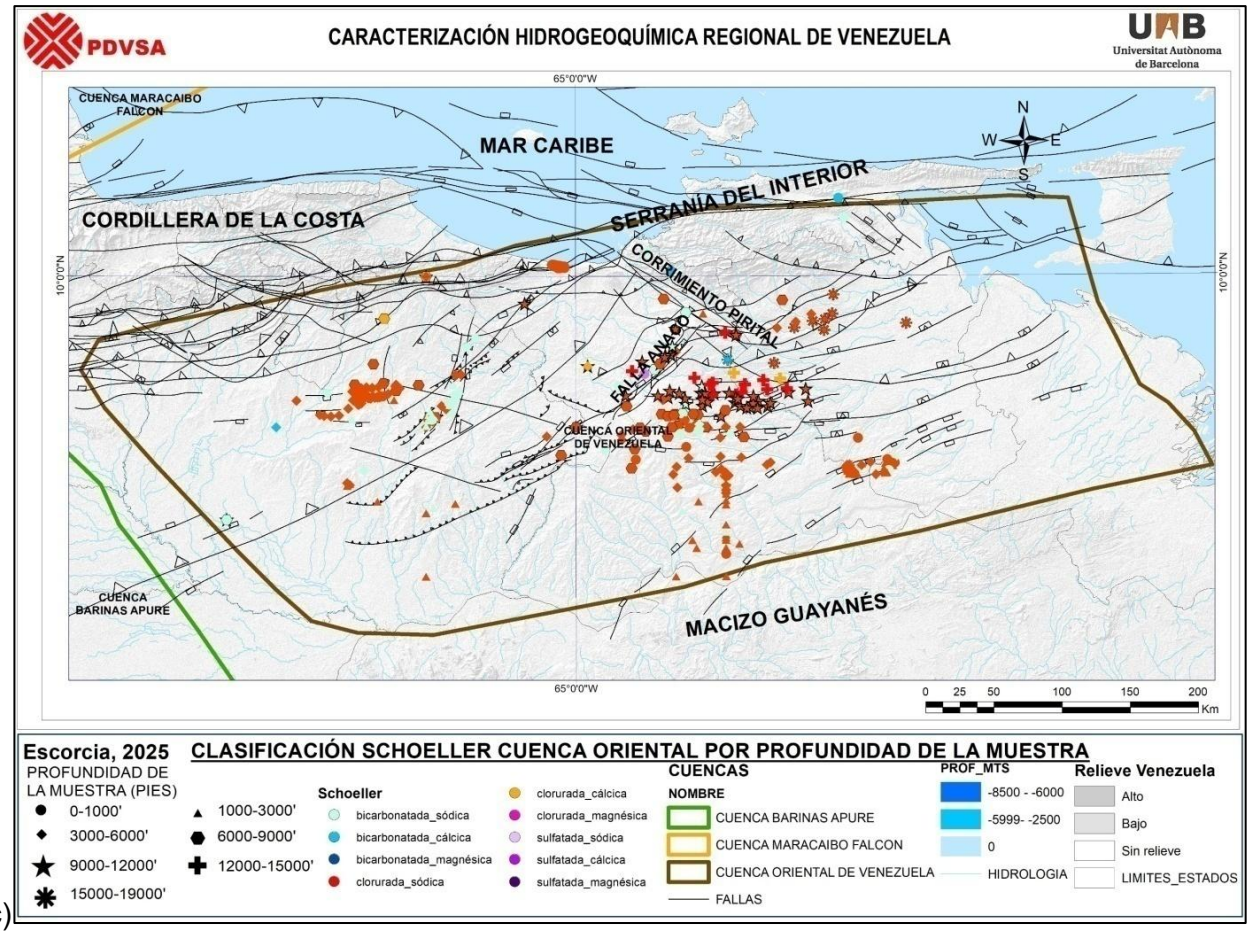


GRÁFICO SCHOELLER (1977)
CUENCA ORIENTAL
Concentraciones en meq/L
100000
10000
1000
100
10
1
0,1
K+Na
Mg2+
Ca2+
SO4 --
Cl -
HCO3-+CO3--
ION MAYORITARIO
0-1.000'
1.000-3.000'
3.000-6.000'
6.000-9.000'
9.000-12.000'
12.000-15.000'
15.000-19.000'

(a)


sulfatada_sódica
clorurada_sódica
clorurada_cálcica
bicarbonatada_sódica
bicarbonatada_magnésica
bicarbonatada_cálcica
Cuenca Oriental
0%
0%
1%
19%
1%
0%
79%
Profundidad de la muestra (pies) y posible UD asociada
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
UDIV o UDVIII
UD VIII
UD IV
UD II
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
Número de muestras con una clasificación Schoeller

(b)



(c)

Figura 90. (a) Grupos identificados de acuerdo con la clasificación de Schoeller (1977) en al menos una muestra por campo petrolífero de la Cuenca Oriental. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. (b) Gráfico de barras con la frecuencia de cada tipo de patrón por rango de profundidad y UD. Patrones en relación con sus iones mayoritarios: sulfatada sódica (naranja), bicarbonatada magnésica (verde), bicarbonatada sódica (azul claro) y clorurada sódica para la Cuenca Oriental. (c) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras con las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Oriental.

V. 3. 5 Clasificación de diagrama múltiple triangular de Piper (1944)

De acuerdo con la clasificación de Piper (1944) las muestras de la Cuenca Oriental se encuentran en los cuatro rombos del diagrama múltiple triangular. La mayor cantidad de muestras se encuentran asociadas al segmento clorurado sódica, relacionada con la presencia de aguas connatas en el medio, con un largo tiempo de residencia. En segundo lugar, se encuentran, las aguas bicarbonatadas sódicas y potásicas, que pudieran relacionarse como un posible producto del proceso de aguas de mezclas (Figura 91):

- En la región de aguas clorurada sódica y potásica o sulfato sódicas, característica de salmueras, aguas de mar e intercambio con rocas sedimentarias, se encuentran 424 muestras mayormente localizadas en la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías”. En el intervalo

de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) se encuentran las muestras de la Laguna de Píritu (Ponton Jimenes, 2018) posiblemente por la cercanía con el Mar Caribe. Las muestras en el rango de profundidad de 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros) se ubican también preferencialmente en la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías" tomadas en las formaciones equivalentes a UDII y UDIV. En el rango de profundidad de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) se añaden las muestras ubicadas en el norte de Guárico. Desde 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros) nuevamente no se encuentran muestras de la UDVIII.

- En la región de aguas bicarbonatadas sódicas y potásicas, característica de intercambio iónico de aguas meteóricas; se encuentran 88 muestras, tomadas en las formaciones geológicas equivalentes a la UDII, UDIV y UDVIII desde superficie hasta 6.000 pies (~2.000 metros) y en la UDIV desde 6.000 a 12.000 pies (~2.000 a 4.000 metros). Este tipo de aguas pueden estar asociada a la presencia de aguas meteóricas por la interacción del CO_2 con el agua de lluvia o con un intercambio roca-fluido que aporte iones al medio (Tabla 24). No se observa una preferencia en la ubicación geográfica de este tipo de agua.

- En la región de aguas bicarbonatadas cálcicas y magnésicas, característica de la presencia e interacción con carbonatos (Tabla 10), se encuentran 8 muestras restringidas a los intervalos de 0 a 6.000 pies (~0 a 2.000 metros). También de este tipo es una muestra en el rango de profundidad de 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.300 metros) tomada en un reservorio equivalente a la UDIV con baja cantidad de sólidos disueltos totales.

- Finalmente, en la región de aguas cloruradas y sulfato cálcicas y magnésicas, característica de oxidación de sulfuros, contaminación minera o actividad bacteriana, se encuentran 7 muestras ubicadas en la zona norte de la cuenca en un rango de profundidad de 3.000 a 9.000 pies y de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros) en las formaciones geológicas equivalentes a la UDIV. La concentración de las muestras en el intervalo de profundidad 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) es mayor que en los intervalos superiores (muestras M-84 y M-86).

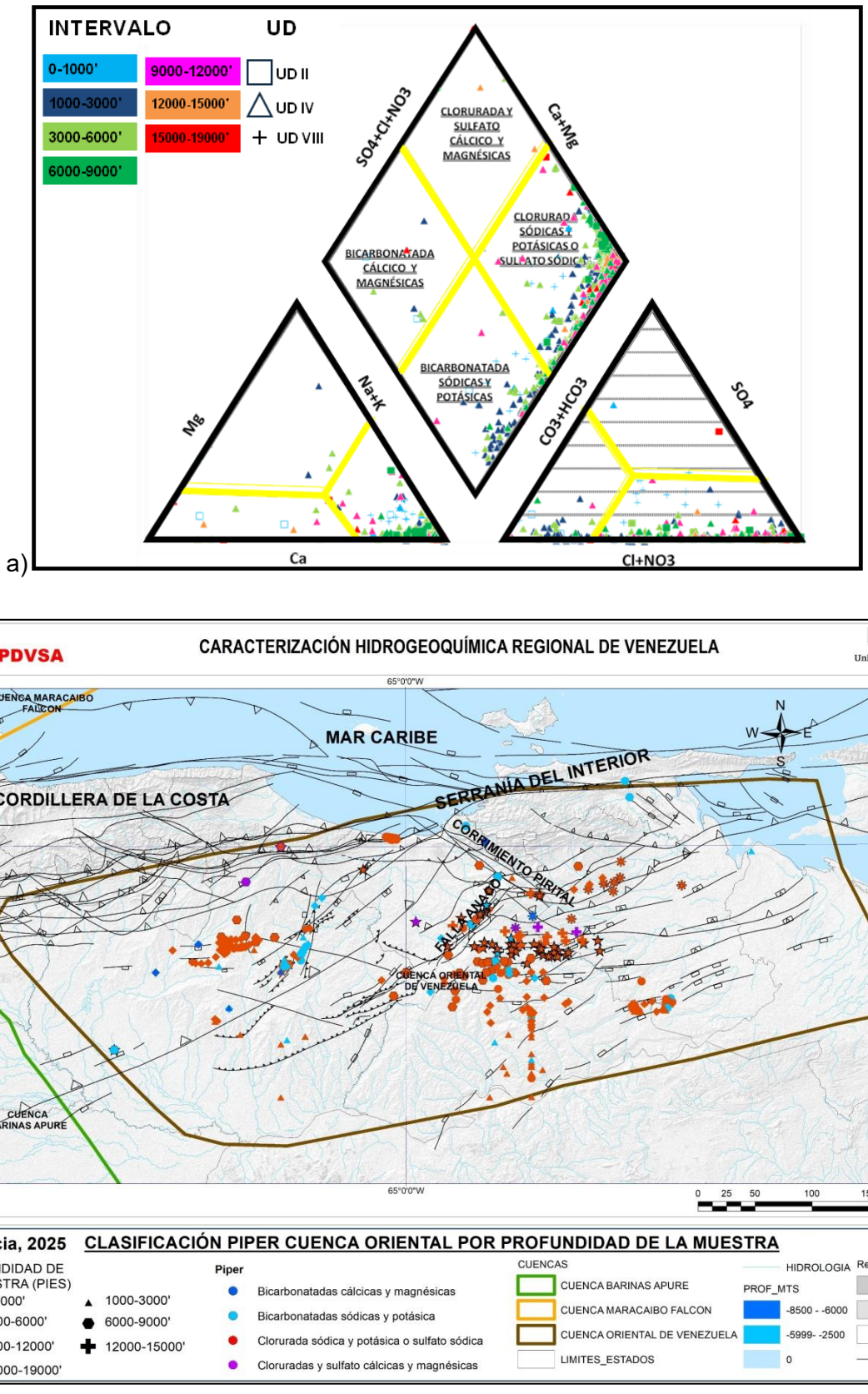


Figura 91. Caracterización de las muestras de agua en la Cuenca Oriental de acuerdo con la clasificación de Piper (1944): (a) Grupos identificados, distribuidas en los cuatro rombos de la clasificación de Piper (1944): clorurada sódica y potásica o sulfato sódicas; bicarbonatadas sódicas y potásicas, cloruradas y sulfato cálcicas y magnésicas, y bicarbonatadas cálcico y magnésicas. Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L.

Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19 y (b) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras con relación a las redes hidrográficas y elementos estructurales de la Cuenca Oriental.

V. 3. 6 Patrones en las muestras de agua y la clasificación de Stiff (1951)

El análisis realizado indica que las aguas de la Cuenca Oriental siguen 7 patrones, o grupos (Figura 92). El mayor porcentaje de las muestras fue categorizado como aguas cloruradas sódicas o forma de embudo, suele ser característica de aguas con alto tiempo de residencia con composiciones posiblemente asociadas al agua de mar:

- Aguas bicarbonatadas sódicas (Figura 92[a]), con un patrón de visto bueno, identificado en 97 muestras tomadas en el rango de profundidad desde 0 a 12.000 pies (~0 a 4.000 metros), que suelen estar asociadas a aguas de intercambio iónico con bajo tiempo de residencia.

- Aguas bicarbonatadas cálcicas (Figura 92[b]), con un patrón de punta de flecha, identificado en 5 muestras tomadas en el rango de profundidad desde 0 a 6.000 pies (~0 a 2.000 metros) y 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros), que suelen estar asociadas a subterráneas con intercambio iónico con tiempos bajos a medios de residencia.

- Aguas bicarbonatadas magnésicas (Figura 92[c]), sin un patrón preestablecido, identificado en 1 muestra tomadas en 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros) en la UDIV hacia el área de la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías”. Esta muestra pudiera estar reflejando un proceso hidrogeoquímico aislado.

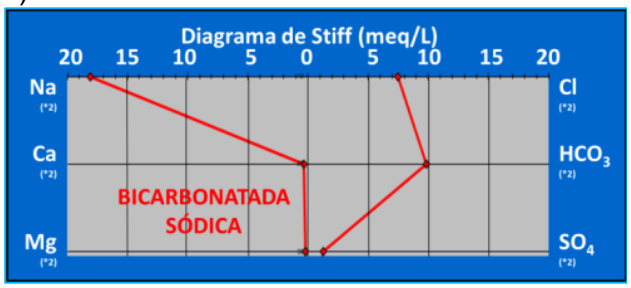
- Aguas cloruradas cálcicas (Figura 92[d]), identificada en 7 muestras en formaciones equivalentes a la UDIV en el intervalo de profundidad de 3.000 a 9.000 pies (~1.000 a 3.000 metros) y 12.000 a 19.000 pies (~4.000 a 6.500 metros). Estas muestras pudieran estar reflejando un proceso hidrogeoquímico aislado, todas ellas muestras con SDT superiores a 1.000 ppm.

- Aguas cloruradas sódicas (Figura 92[e]), con un patrón de embudo, identificado en 400 muestras, tomadas en el rango de profundidad desde 0 a 19.000 pies (~0 a 6.500 metros) en todas las unidades depositacionales características de aguas connatas o de formación.

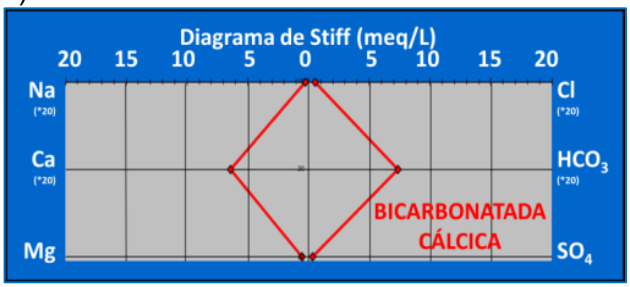
- Aguas cloruradas sódicas diluida (Figura 92[f]), con un patrón de embudo y bajas concentraciones de iones mayoritarios, identificado en 16 muestras, tomadas en tres rangos de profundidad: 0 a 6.000 pies, 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros) y de 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros). Ello coincide con las bajas concentraciones de iones mayoritarios que presentan las muestras desde 9.000 a 19.000 pies (~3.000 a 6.500 metros) en relación con el intervalo de profundidad de 3.000 a 9.000 pies (~1.000 a 3.000 metros).

- Se identificó un único caso de agua sulfatada sódica (Figura 92[g]), correspondiente a la muestra M-241, tomada entre 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) en la Formación Oficina. Su composición podría asociarse a: 1) la disolución de minerales evaporíticos como el yeso, o 2) procesos de oxidación de pirita relacionados con la presencia de hidrocarburos en el área.

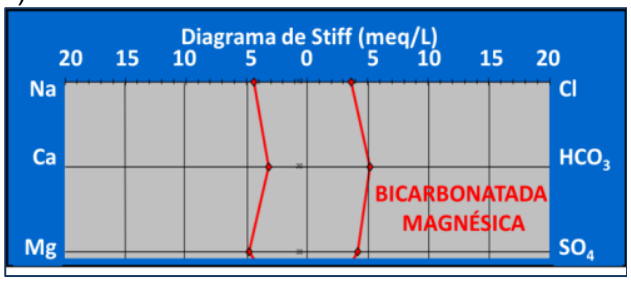
a)



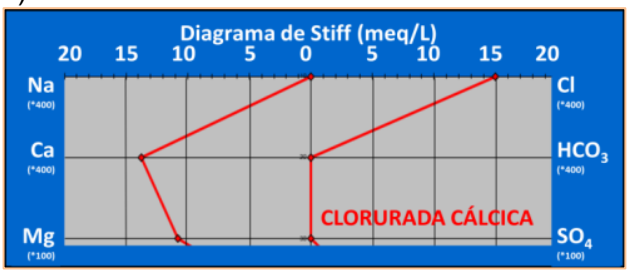
b)



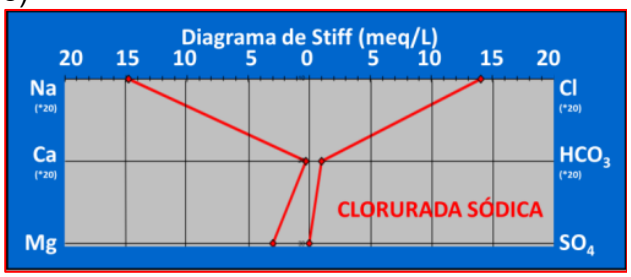
c)



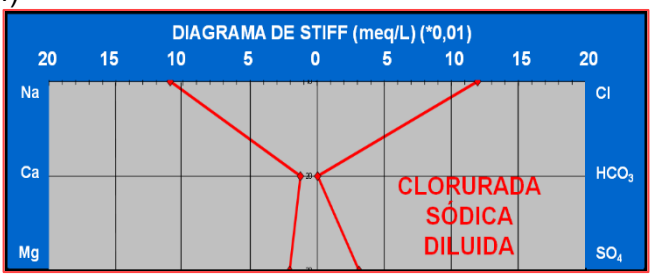
d)



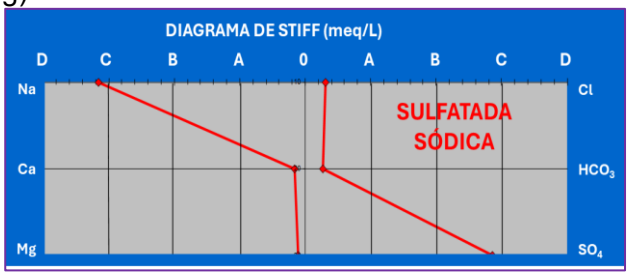
e)



f)



g)



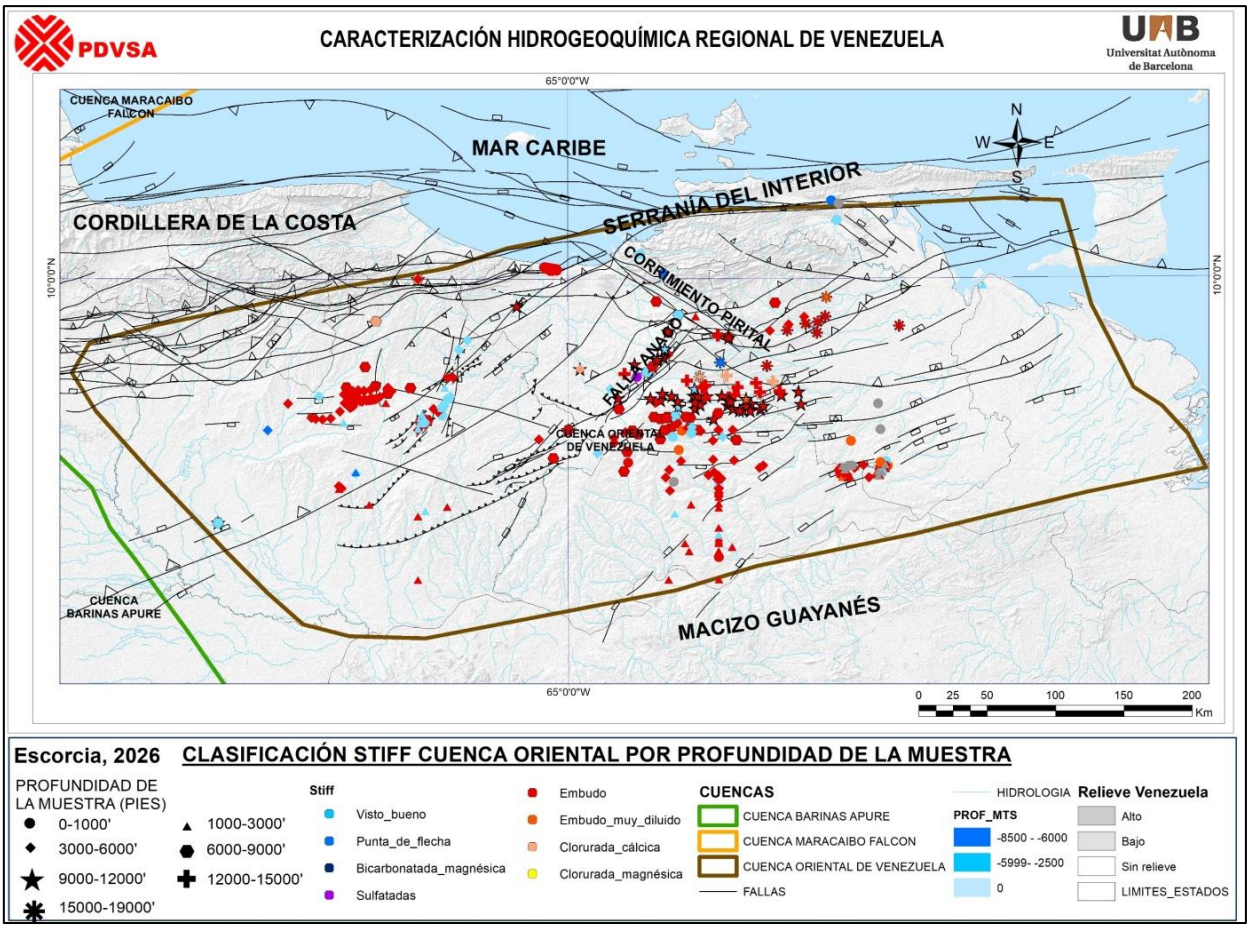
g) 

Figura 92. Grupos identificados de acuerdo con la clasificación de Stiff (1951) para la Cuenca Oriental en el orden de aparición:(a) aguas bicarbonatadas cálcicas, (b) aguas bicarbonatadas magnésicas, (c) aguas bicarbonatadas sódicas, (d) aguas cloruradas cálcicas, (e) aguas cloruradas sódicas, (f) aguas sulfatadas sódicas. (g) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras con relación a las redes hidrográficas y elementos estructurales de la COV.

V. 3. 7 Análisis isotópicos

Las 45 muestras con datos de isótopos disponibles en la Cuenca Oriental (Figura 94), tienen valores de isótopos de carbono, oxígeno e hidrógeno ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$ y $\delta^{2}H$), analizados con referencia al indicador de Viena (VSMOW y VPDB) en un intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros) (UDII, UDIV y UDVIII) y de 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros) (UDIV). El marco del análisis de datos isotópicos parte de las líneas contexto generadas en la III. 1. Creación de la base de datos: línea meteórica mundial (GLWL), línea meteórica local (LLWL), línea de mezcla entre agua de mar y agua de lluvia (Mezcla) y la línea de evaporación local (LEV). Los parámetros que deberían tenerse en cuenta, dada la proximidad de la Cuenca Oriental al Mar Caribe y la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías”, son:

- La temperatura a la cual se evaporó el agua de mar y, aún más, la temperatura a la cual condensó la lluvia es aproximadamente la misma, por lo cual no se considera la temperatura un factor

influyente en el fraccionamiento isotópico de las muestras. Esto es principalmente cierto por la ubicación trópico-ecuatorial de las muestras.

- La Cuenca Oriental tiene elementos topográficos importantes, como la Cordillera de la Costa y la Serranía del Interior Oriental al norte y el Macizo Guayanés al sur. Las muestras se localizan al norte de la Cuenca y en la región central. Las variaciones en el relieve de las muestras no son mayores a los 200 metros; sin embargo, la Serranía del Interior Oriental las separa del Mar Caribe. Por lo tanto, aunque el efecto altitudinal pueda ser menospreciado, el efecto continental en las muestras puede influir.

- Las muestras se encuentran todas en Venezuela, por tanto, no se consideran efectos latitudinales.

- La fecha de las muestras no tiene información del mes en el cual se tomaron para correlacionarlo con las épocas de sequía y de lluvia. Por lo tanto, no se descarta el efecto de cantidad, ni estacional, pero no se considera importante.

La Figura 93 contiene los datos isotópicos de oxígeno y deuterio en la Cuenca Oriental de Venezuela con las barras de error analítico, en general, cercanas a la Línea Meteórica Local y Global. Las muestras se pueden discretizar 5 grupos de datos, indicadores de la proveniencia o procesos químicos que han alterado las muestras de agua:

- Un conjunto de muestras (M-672, M-680, M-687, M-993, M-997, M-998, M-999, MI-1, MI-10, MI-19, MI-25) se alinea con la Línea de Mezcla Meteórica Local (LLMM), indicando un origen vinculado a aguas meteóricas, con contacto reciente con la superficie. Esta interpretación es consistente con su clasificación hidrogeoquímica como aguas bicarbonatado-sódicas. Cabe destacar que las muestras M-672, M-680 y M-687, localizadas en la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías”, entre 1.000-3.000 pies de profundidad, sugieren posibles procesos de infiltración de aguas meteóricas hacia sedimentos más profundos.

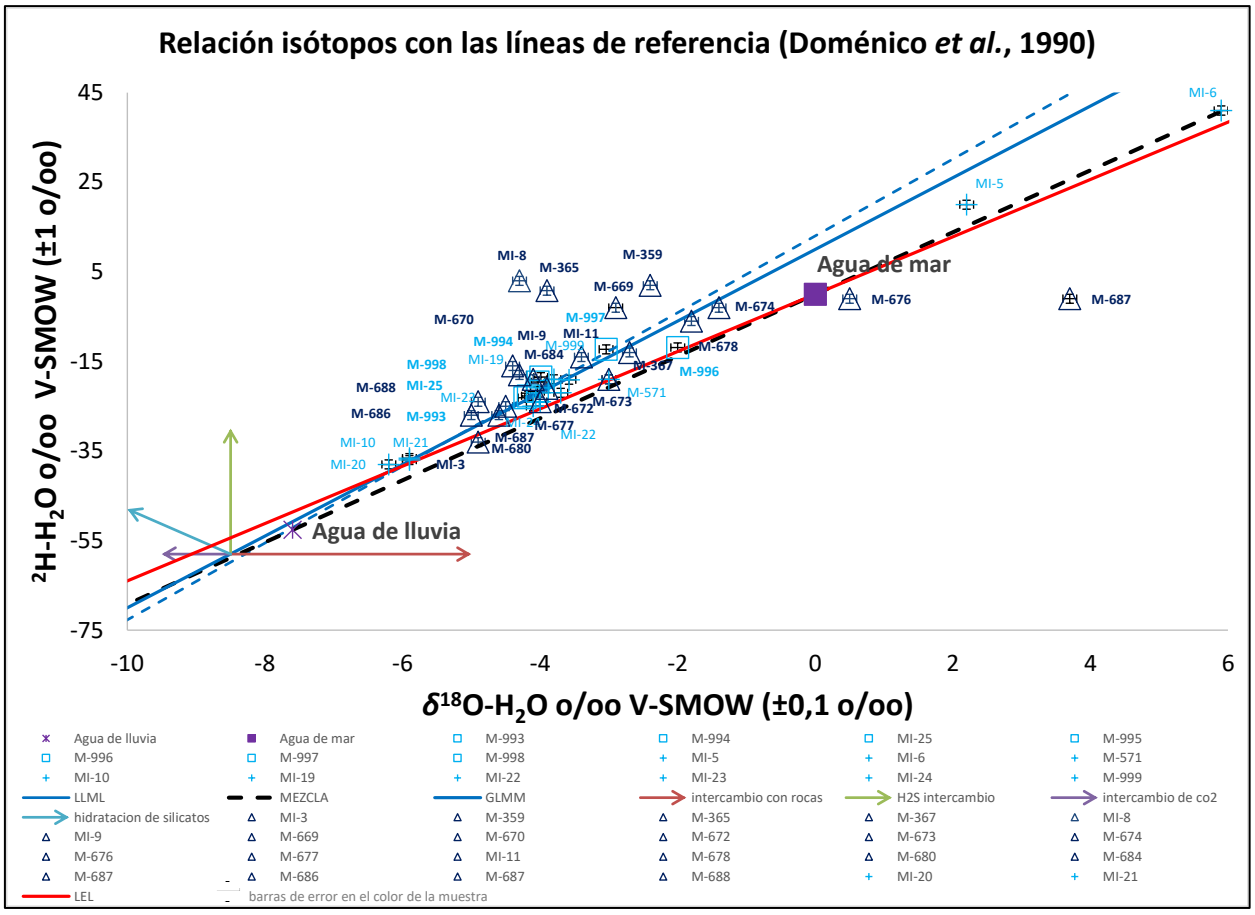
- Un conjunto de muestras (M-996, MI-5, MI-22, MI-23, MI-24, M-367, M-674, M-677 y M-678) muestra un empobrecimiento en deuterio o enriquecimiento en oxígeno-18, dentro del margen de error analítico, situándose entre la Línea Meteórica Local y la línea de mezcla con agua marina. La muestra M-996, al norte de la cuenca, refleja influencia marina por posible efecto de continentalidad, con composición isotópica más ligera que el agua marina (Back, 1960/2005). MI-5, de una laguna, posible evidencia evaporación, mientras que MI-22, MI-23 y MI-24, procedentes de ríos menores al Orinoco, podrían estar afectadas por mayor humedad regional y evaporación en los meandros como en los ríos El Tigre y Aceital (INAMEH, 2024). Finalmente, M-367, M-674, M-677 y M-678, tomadas entre 1.000-3.000 pies de profundidad (45-51°C) y

clasificadas como salinas clorurado-sódicas en la clasificación hidrogeoquímica, sugieren interacción roca-fluido o mezcla con aguas más profundas.

- Las muestras MI-6, M-571, MI-3 y M-673, ubicadas en la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías” (intervalo 0-3000 pies, 51°C), presentan una composición que se ajusta a la línea de mezcla entre agua meteórica y agua marina. Dado que la distancia al mar supera los 150 km, esta firma hidroquímica sugiere la intervención de otro proceso. Posiblemente sea la interacción roca-fluido, que estaría modificando la composición iónica o la mezcla con aguas más profundas, puesto que la caracterización hidrogeoquímica muestra aguas dulces y salinas clorurado-sódicas.

- El par de muestras M-676 y M-687 tomadas en el intervalo de profundidad de 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros) con temperaturas entre 45 y 50°C en la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías” se encuentra enriquecida en el isótopo pesado de oxígeno y fue caracterizada como aguas salobres cloruradas sódicas y bicarbonatadas sódicas, identificada en los isótopos como agua de intercambio iónico o de interacción roca-agua; ubicadas sobre la línea de evaporación local.

- Finalmente, las muestras M-994, M-995, MI-7, M-97-1, M-97-2, M-359, M-365, MI-8, MI-9, M-669, M-670, M-675, MI-11, M-684, MI-12, M-686, MI-13, M-688 se encuentran enriquecidas en deuterio y por encima de la LLMM. Autores previos como Angulo *et al*., (2016); Barreto, 2017 y López, 2018 infieren que en estas muestras pueden estar ocurriendo procesos de mezclas con hidrocarburos o de precipitación de cementos de calcita, identificados al momento de la toma de la muestra y detectados por difracción de rayos X. El rango de temperatura se encuentra de 40 a 55°C y la interpretación hidrogeoquímica de algunas de las muestras indica aguas salobres y salinas composición clorurada sódica. En particular, para las muestras M-994 y M-995 son muestras bicarbonatadas cálcicas, posiblemente producto de un intercambio iónico.


Relación isótopos con las líneas de referencia (Doménico *et al.*, 1990)
^2H-H_2O o/oo V-SMOW (±1 o/oo)
$\delta^{18}O$-H_2O o/oo V-SMOW (±0,1 o/oo)
45
25
5
-15
-35
-55
-75
-10
-8
-6
-4
-2
0
2
4
6
Agua de mar
Agua de lluvia
MI-6
MI-5
MI-8
M-365
M-359
M-669
M-674
M-676
M-687
M-670
M-997
MI-11
M-994
MI-9
M-684
M-678
M-367
M-996
M-998
MI-19
M-688
MI-25
M-571
M-673
M-686
M-993
M-672
M-677
MI-22
M-687
M-680
MI-10
MI-21
MI-20
MI-3
Agua de lluvia
Agua de mar
M-993
M-994
MI-25
M-995
M-996
M-997
M-998
MI-5
MI-6
M-571
MI-10
MI-19
MI-22
MI-23
MI-24
M-999
LLML
MEZCLA
GLMM
intercambio con rocas
H2S intercambio
intercambio de co2
hidratacion de silicatos
MI-3
M-359
M-365
M-367
MI-8
MI-9
M-669
M-670
M-672
M-673
M-674
M-676
M-677
MI-11
M-678
M-680
M-684
M-687
M-686
M-687
M-688
MI-20
MI-21
LEL
barras de error en el color de la muestra

a)

b)

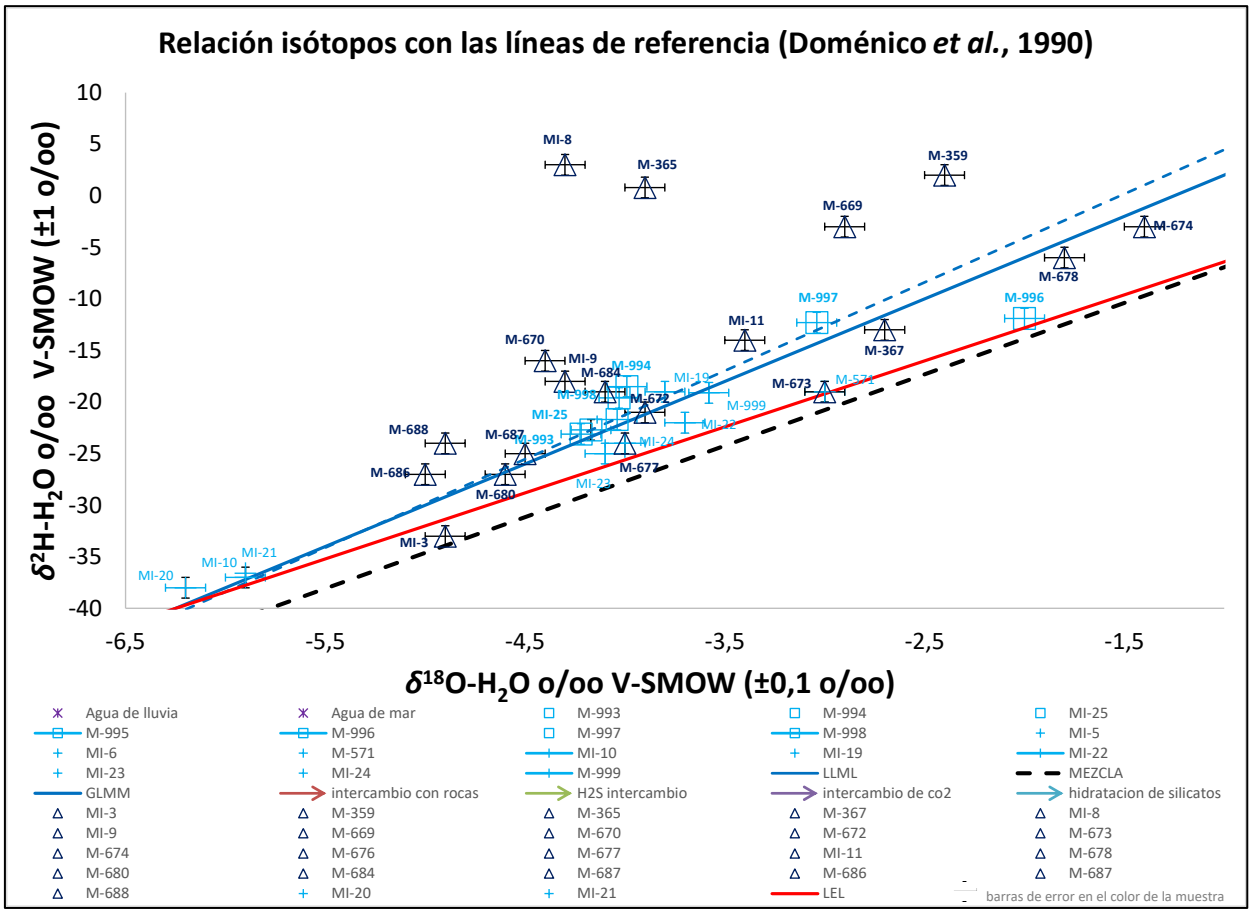
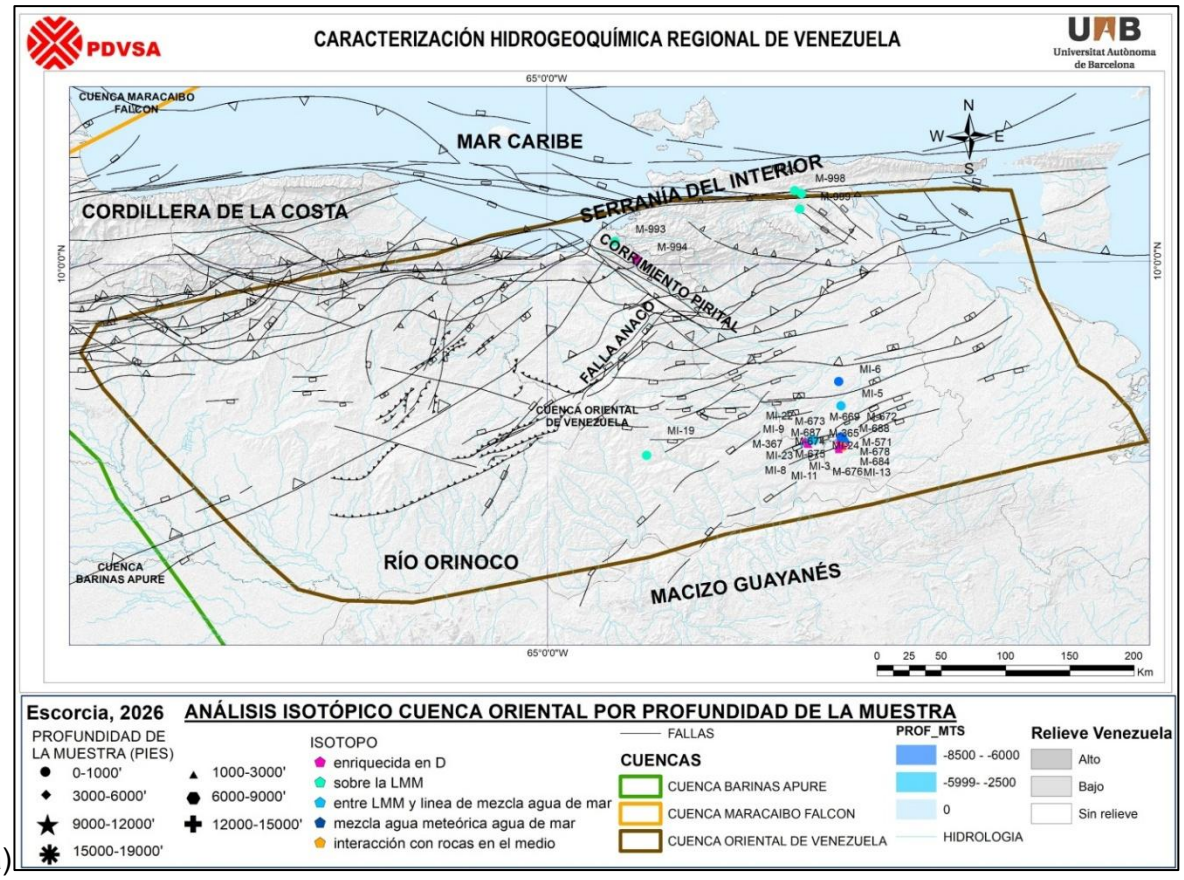
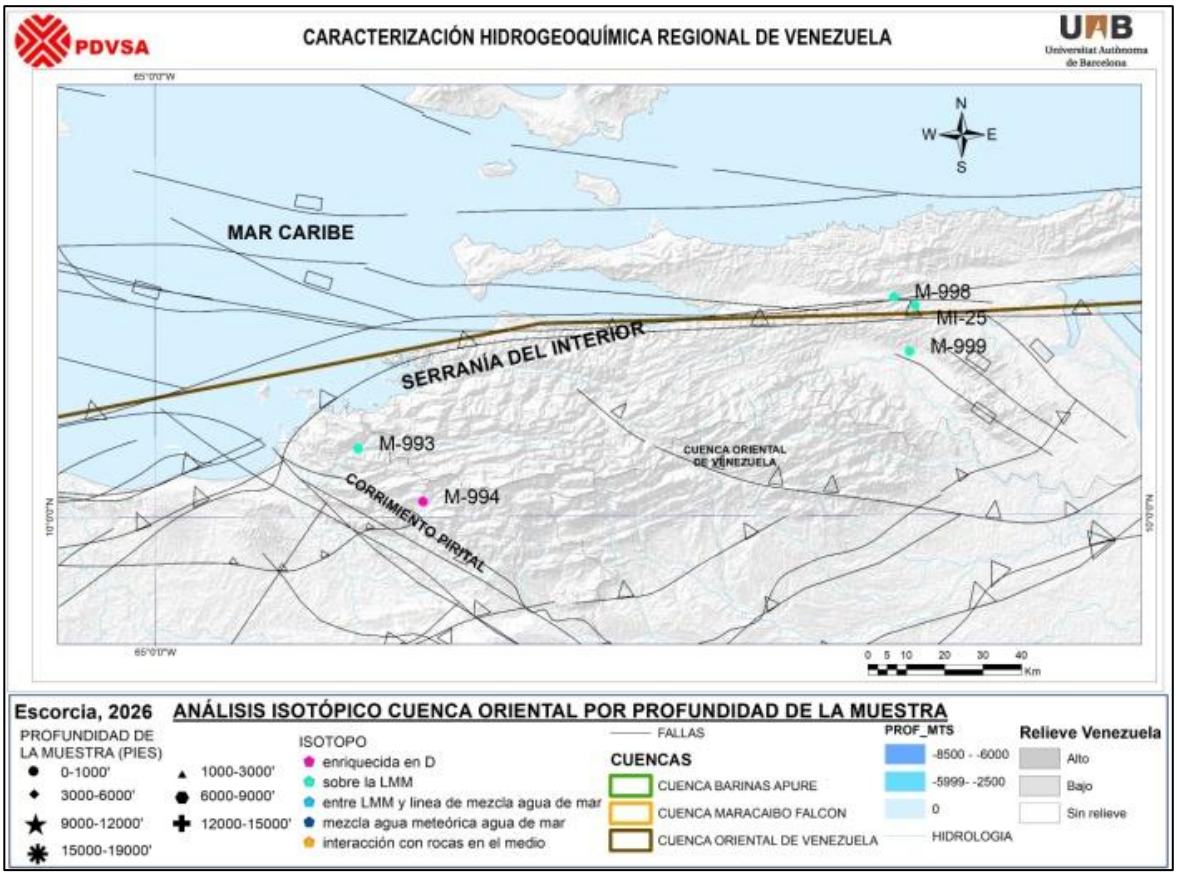


Figura 93. Gráficos de dispersión de $\delta^{18}O$ en relación con $\delta^{2}H$. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.a) escala de -10 a 6‰ $\delta^{18}O$ y de -75 a 45‰ δ^{D} b) escala de -6,5 a -1 ‰ $\delta^{18}O$ y de -40 a 10 ‰ δ^{D}. Las líneas de color negro son indicativas del rango de error analítico de la muestra.

a)


PDVSA
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL DE VENEZUELA
UAB
Universitat Autònoma de Barcelona
CUENCA MARACAIBO FALCON
MAR CARIBE
CORDILLERA DE LA COSTA
SERRANÍA DEL INTERIOR
CORRIMIENTO PIRITAL
FALLA ANACO
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
RÍO ORINOCO
MACIZO GUAYANÉS
CUENCA BARINAS APURE
M-998
M-993
M-994
MI-6
MI-5
MI-19
MI-25
M-673
M-669
M-672
MI-9
M-687
M-365
M-665
M-367
M-674
M-24
M-571
MI-23
M-675
M-678
MI-8
MI-3
M-684
MI-11
M-676
MI-13
65°0'0"W
10°0'0"N
0 25 50 100 150 200 Km
Escorcia, 2026
ANÁLISIS ISOTÓPICO CUENCA ORIENTAL POR PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (PIES)
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
ISOTOPO
enriquecida en D
sobre la LMM
entre LMM y linea de mezcla agua de mar
mezcla agua meteórica agua de mar
interacción con rocas en el medio
FALLAS
CUENCAS
CUENCA BARINAS APURE
CUENCA MARACAIBO FALCON
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
PROF_MTS
-8500 - -6000
-5999- -2500
0
HIDROLOGIA
Relieve Venezuela
Alto
Bajo
Sin relieve

b)


PDVSA
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL DE VENEZUELA
UAB
Universitat Autònoma de Barcelona
MAR CARIBE
SERRANÍA DEL INTERIOR
CORRIMIENTO PIRITAL
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
M-998
MI-25
M-999
M-993
M-994
65°0'0"W
10°0'0"N
0 5 10 20 30 40 Km
Escorcia, 2026
ANÁLISIS ISOTÓPICO CUENCA ORIENTAL POR PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA (PIES)
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
ISOTOPO
enriquecida en D
sobre la LMM
entre LMM y linea de mezcla agua de mar
mezcla agua meteórica agua de mar
interacción con rocas en el medio
FALLAS
CUENCAS
CUENCA BARINAS APURE
CUENCA MARACAIBO FALCON
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
PROF_MTS
-8500 - -6000
-5999- -2500
0
HIDROLOGIA
Relieve Venezuela
Alto
Bajo
Sin relieve

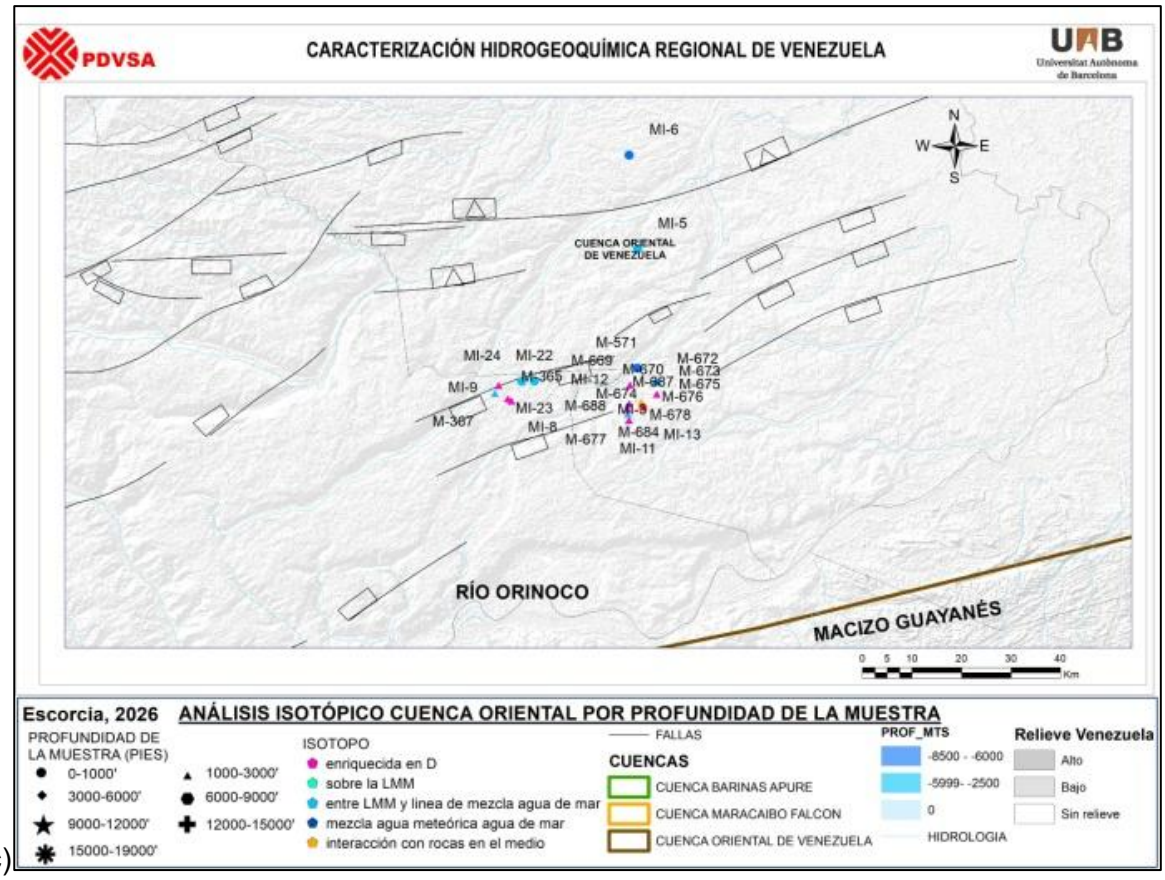
c) 

Figura 94. a) Mapa con la ubicación geográfica de las muestras con dato isotópico en relación a las redes hidrográficas y elementos estructurales de la COV b) Mapa con la ubicación geográfica del análisis isotópico en relación a las redes hidrográficas y elementos estructurales de la COV con énfasis en los datos de la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías" y c) Mapa con la ubicación geográfica del análisis isotópico en relación a las redes hidrográficas y elementos estructurales de la COV con énfasis en los datos de la Serranía del Interior Oriental.

La signatura isotópica de carbono se muestra en la Figura 95, en relación con la concentración de bicarbonato. El grupo de muestras de la zona superior derecha podrían estar asociado a la precipitación de minerales carbonáticos por la pérdida de CO_2, generando un enriquecimiento de $\delta^{13}C$ en el carbono inorgánico disuelto remanente en las aguas (Carothers y Kharaka, 1980).

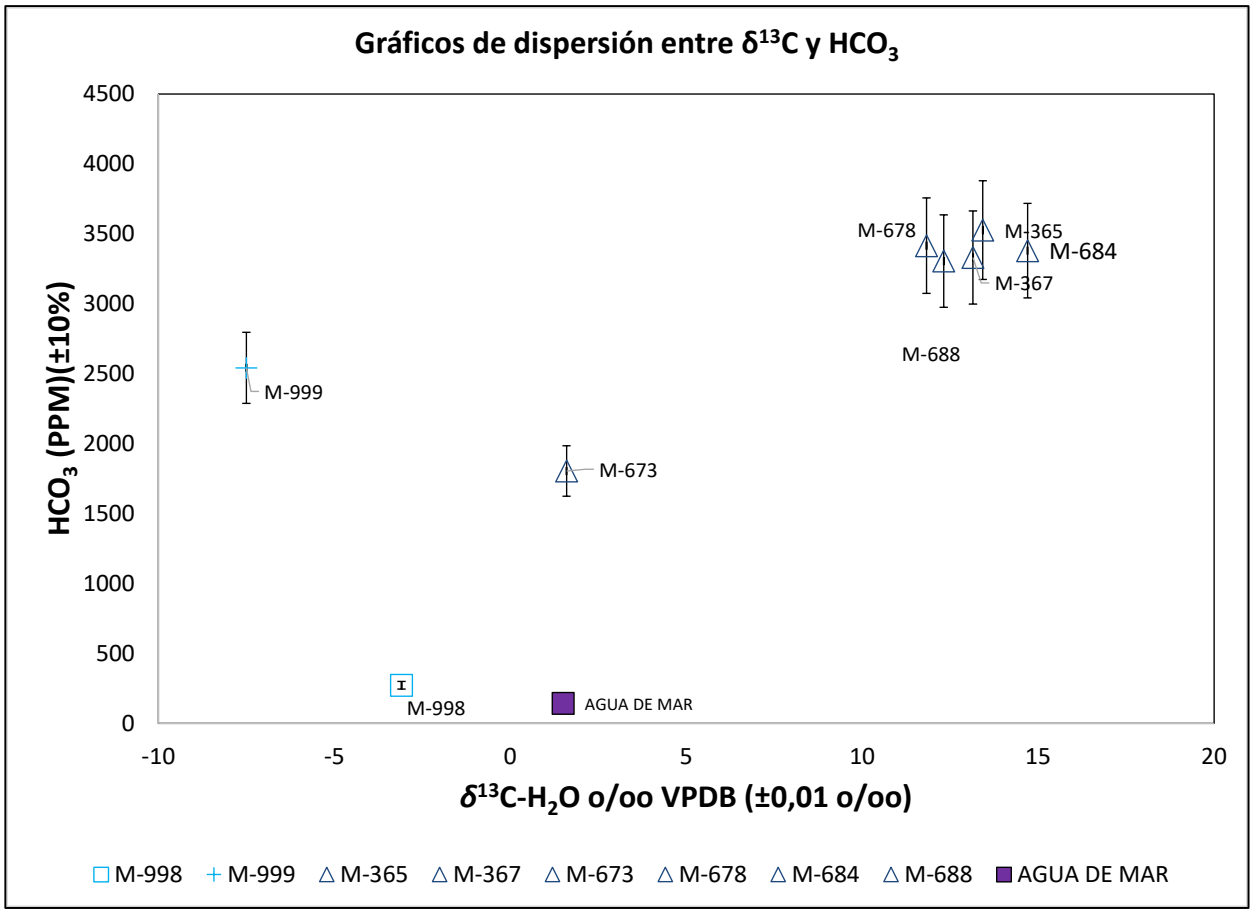


Figura 95. Gráfico de dispersión de $\delta^{13}C$ con relación a bicarbonato (ppm) manteniendo las agrupaciones realizadas en el gráfico de isótopo de oxígeno con hidrógeno. Las líneas de color negro son indicativas del rango de error analítico de la muestra. El valor de referencia del isotopo de $\delta^{13}C$ para agua de mar se tomó de Kroopnick (1985) y es el cuadro de color morado.

.

En la Figura 96 las muestras empobrecidas en el isótopo pesado de oxígeno en relación con el agua de mar (cuadrado de color morado) pueden indicar procesos de intercambio con aguas del continente. Se discretizan dos grupos: El primer grupo de las muestras entre 0 y 1.000 pies (~0 a 300 metros) presentan una menor concentración de bicarbonatos (excepto M-999) cuya concentración de iones mayoritarios es bicarbonatada sódica, por lo cual podrían ser aguas meteóricas. El segundo grupo son muestras de 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros) con una mayor concentración de bicarbonatos superior (excepto M-669) y una composición de iones mayoritarios clorurada sódica, por lo cual podrían ser aguas de mezcla entre aguas continentales y aguas de formación, relacionadas además algunas de ellas con el grupo de muestras ubicados entre la línea meteórica y la línea de mezcla con agua de mar en la Figura 93, pudiendo ser indicativa del porcentaje de mezcla de las aguas. Las muestras enriquecidas en el isótopo pesado son M-687 y M-676 que pudieran estar relacionadas con un proceso de evaporación o un mayor porcentaje en el agua de mar dentro de la muestra.

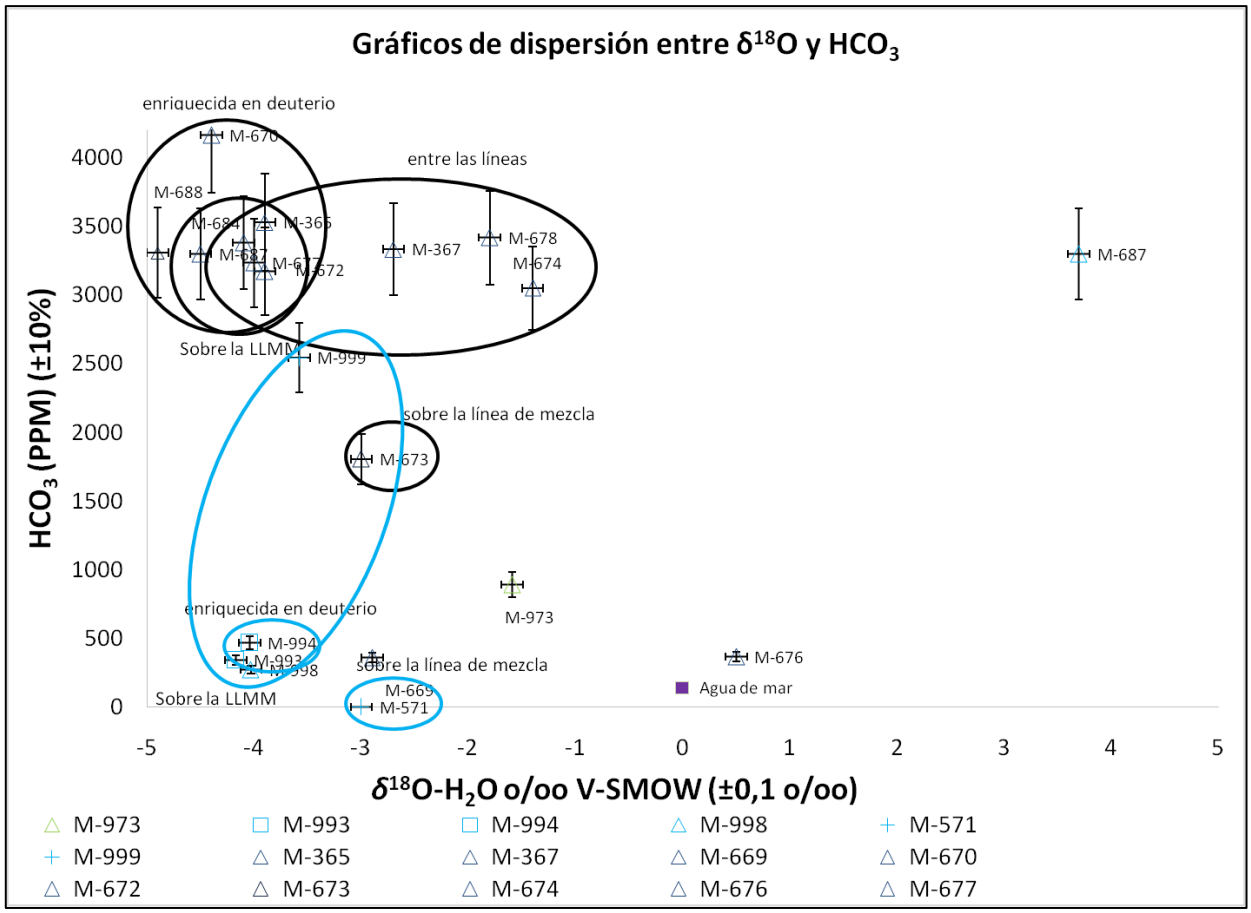


Figura 96. Gráfico de dispersión de $\delta^{18}O$ con relación a bicarbonato (ppm) manteniendo las agrupaciones realizadas en el gráfico de isótopo de oxígeno con hidrógeno. Las líneas de color negro son indicativas del rango de error analítico de cada muestra.

Finalmente, en relación con la profundidad de las muestras, se presenta los datos en la Figura 97. La línea azul corresponde a los valores de isótopos esperados para aguas de manantial o aguas de poco tiempo de residencia (Carothers y Kharaka, 1980). En general las muestras tomadas en reservorios de la UDII se encuentran empobrecidas en el isótopo pesado y las de la UDIV son positivas indicando aporte de carbonatos. El fraccionamiento isotópico es característico de aguas de formación someras.

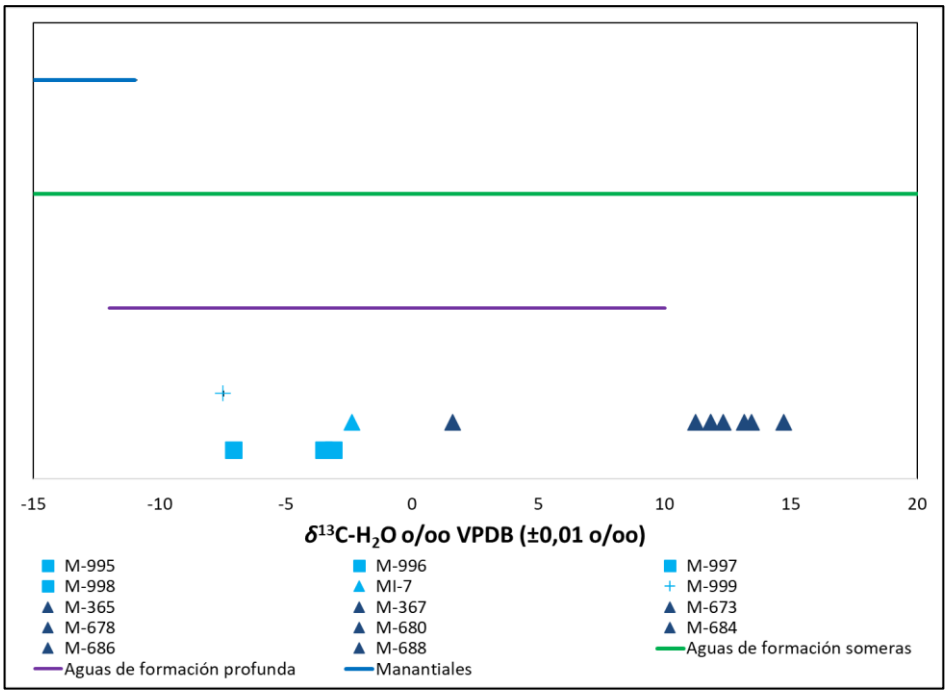


Figura 97. Gráfico de barra de $\delta^{13}C$ con relación a referencias mundiales (Carothers & Kharaka, 1980) manteniendo las agrupaciones realizadas en el gráfico de isótopo de oxígeno con hidrógeno.

Capítulo VI
Facies hidrogeoquímicas y el contexto geológico

CAPÍTULO VI. FACIES HIDROGEOQUÍMICA Y EL CONTEXTO GEOLÓGICO

La identificación de las facies hidrogeoquímicas en las principales cuencas petrolíferas de Venezuela permite analizar los procesos generadores de los distintos tipos de agua. Cabe señalar que dichos procesos ocurren a múltiples escalas; el objetivo de esta investigación es distinguir, a escala regional, los rasgos que permiten diferenciar entre las muestras de agua analizadas.

En este apartado se describen las características distintivas de cada facies hidrogeoquímica y su contexto geológico, considerando su ubicación geográfica, las rocas circundantes, las respuestas en los registros eléctricos y los elementos estructurales adyacentes. El propósito central de este capítulo es cumplir con el objetivo específico de "correlacionar la composición química de las muestras de agua con los principales elementos estructurales y la mineralogía de las rocas".

VI. 1. Facies hidrogeoquímicas Cuenca Barinas Apure

El análisis de las relaciones elementales y la clasificación de las muestras de agua según diferentes autores ha permitido definir facies hidrogeoquímicas relacionables entre sí. En la Cuenca Barinas Apure se han identificado 11 de estas facies, las cuales, según sus iones mayoritarios, pueden agruparse en ocho tipos. Estos se describen a continuación y han sido resumidas en la Tabla 40 y Figura 98.

Cabe destacar que, con la excepción de las muestras bicarbonatadas sódicas y una muestra superficial, las aguas de la Cuenca Barinas Apure parecen estar confinadas a los intervalos de profundidad de donde se extrajeron. Esta condición se explica porque las fallas identificadas en la Figura 21 han sido selladas por los sedimentos suprayacentes, eliminando posibles vías de migración.

Tabla 40. Resumen de las características de las facies hidrogeoquímicas en base a la caracterización hidrogeoquímico en la Cuenca Barinas Apure: NaCl: Facies Clorurada sódicas, $NaCl/SO_4$: Facies cloruradas y sulfatadas sódicas, Na_2SO_4: Facies sulfatadas sódicas; CaSO4: Facies sulfatadas cálcicas; KCl: Facies cloruradas potásicas; $MgCl_2$: Facies cloruradas magnésicas; $NaHCO_3$: Facies bicarbonatadas sódicas; $NaCl/HCO_3$: Facies cloruradas y bicarbonatadas sódicas.

Clasificación e indicador	Autor	Categorías	Facies Hidrogeoquímica Cuenca Barinas Apure							
			NaCl	$NaCl/SO_4$	Na_2SO_4	$CaSO_4$	KCl	$MgCl_2$	$NaHCO_3$	$NaCl/HCO_3$
Concentración SDT (ppm)	Hem (1970)	Dulces	■		■	■			■	
		Salobres		■	■		■	■	■	
		Salinas								■
Relaciones Inter elementales Aniones y cationes (meq/L)	Varios	Dulce							■	
		Dulce (SO_4 - Bajo/Aporte yeso)		■	■					
		Dulce (Sulfatada Para UDVI)		■						
		Dulce Sulfatada		■	■	■				
		Mezcla MgCl Connata con cemento diluida						■		
		Connata Muy Diluida	■							
		Connata muy diluida enriquecida en potasio					■			
		Connata muy diluida Bicarbonato Alto								■
Tipo de agua NaCl	Sulin (1946)	Meteórica-Sulfatadas Sódicas	■	■	■	■				
		Meteórica- Bicarbonatadas Sódicas	■	■	■				■	■
		Connata-Clorurada Cálcica					■			
		Connata-Clorurada Magnésica	■					■		
Logarítmica Aniones y cationes (meq/L)	Schoeller (1977)	Bicarbonatada sódica							■	
		Clorurada magnésica						■		
		Clorurada sódica	■	■			■			■
		Sulfatada cálcica				■				
		Sulfatada sódica			■					
Triángulo Aniones y cationes (meq/L)	Piper (1944)	Bicarbonatadas Sódicas y Potásicas							■	
		Clorurada Sódica y Potásica o Sulfato Sódicas	■	■	■		■			■
		Clorurada y Sulfato Cálcicas y Magnésicas				■		■		
Patrones gráficos Aniones y cationes (meq/L)	Stiff (1951)	Clorurada magnésica						■		
		Clorurada sódica	■	■			■			■
		Clorurada sódica diluido	■							
		Sulfatadas			■	■				
		Bicarbonatada sódica							■	

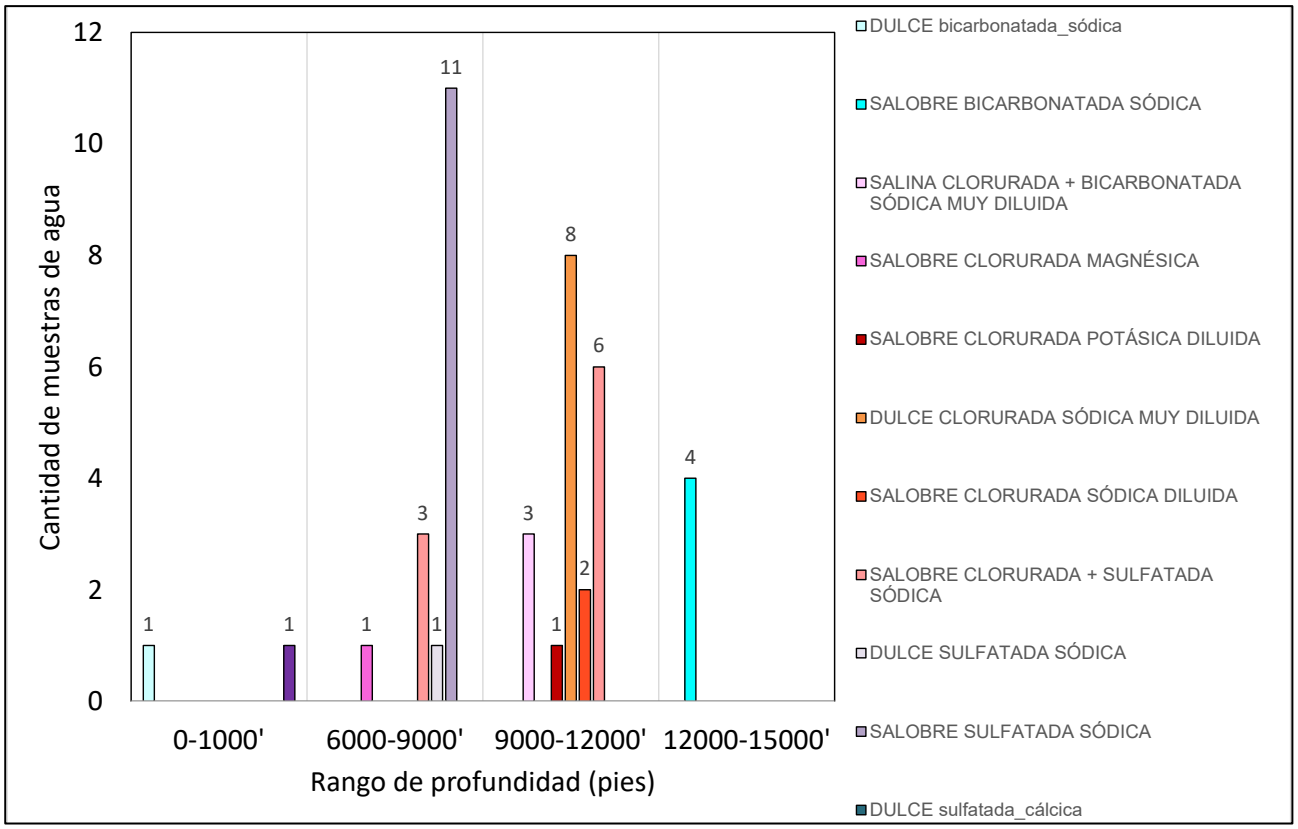
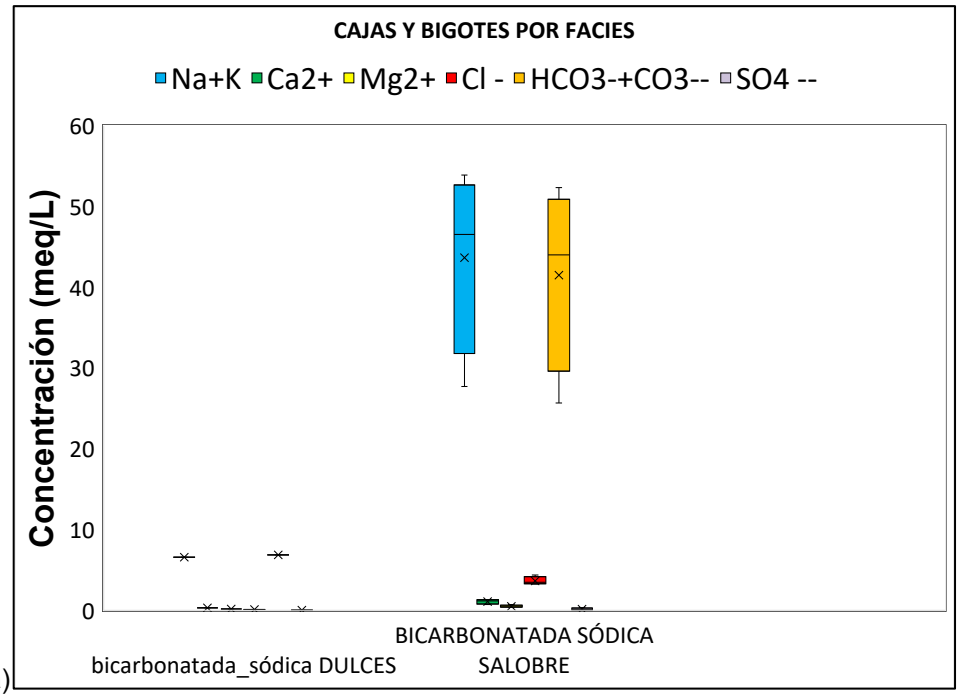


Figura 98. Diagrama de columnas con la cantidad de muestras en cada facies hidrogeoquímica en la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con el rango de profundidad en la cual fue tomada la muestra.

VI. 1. 1 Facies de aguas bicarbonatada sódicas

La facies bicarbonatada sódica se define por la predominancia de estos iones en la composición del agua (Schoeller, 1977; Figura 40 a y b (cuadros de color naranja y guiones de color azul claro) y Figura 99ª). Esta clasificación es coincidente entre los diferentes autores de referencia: se corresponde con la "meteórica" de Sulin (1946), Figura 39 color azul, presenta el patrón característico de "vista bueno" en los diagramas de Stiff, (1951), Figura 42a y se clasifica como bicarbonatada sódico-potásica según Piper (1944), Figura 41.

Esta facies está representada por cinco de las muestras analizadas (Figura 99). Cuatro de ellas proceden de la Subcuenca de Apure, extraídas de un intervalo de profundidad entre 12.000 y 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDII y ubicadas en la misma área geográfica. La quinta muestra, clasificada como dulce por su baja concentración de SDT, proviene de un reservorio superficial de la Subcuenca de Barinas (este), en formaciones equivalentes a la UDVII. Las cuatro muestras de Apure están clasificadas como salobres.



a)

b)

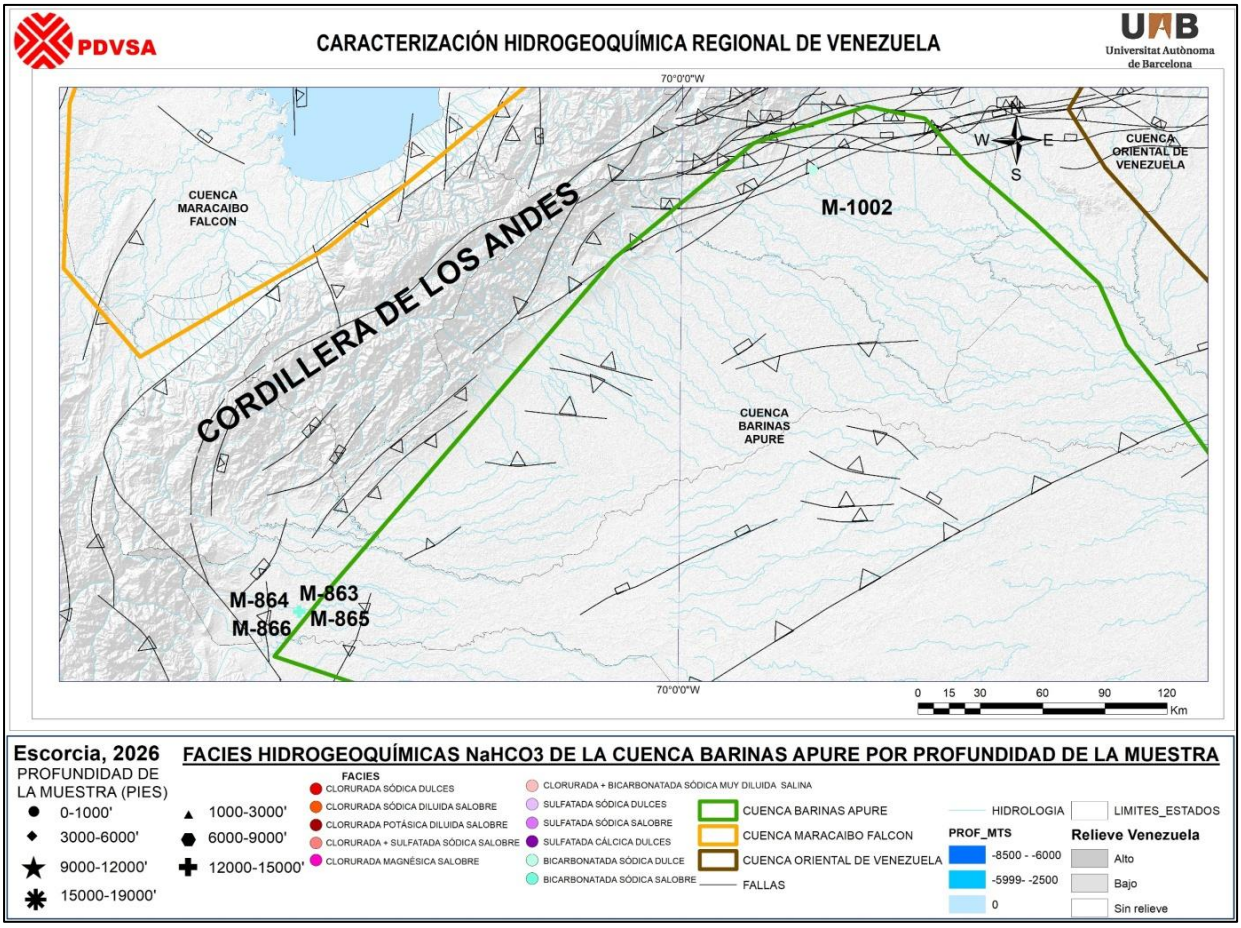


Figura 99. Caracterización de facies bicarbonatada sódicas en la Cuenca Barinas Apure. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y

puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Ubicación de las muestras con un símbolo diferente por intervalo de profundidad en la cual fue tomada.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en los puntos de muestreo M-863, M-864, M-865 y M-866 (identificados en la Figura 100 con círculos azules). En estos registros se observan altos valores de resistividad, que corresponden a lo descrito en la litología como cuerpos de arena y que también son evidentes en el registro de *gamma ray*. Es importante señalar que las variaciones en la composición química de las muestras pueden influir en las lecturas de resistividad de las formaciones geológicas.

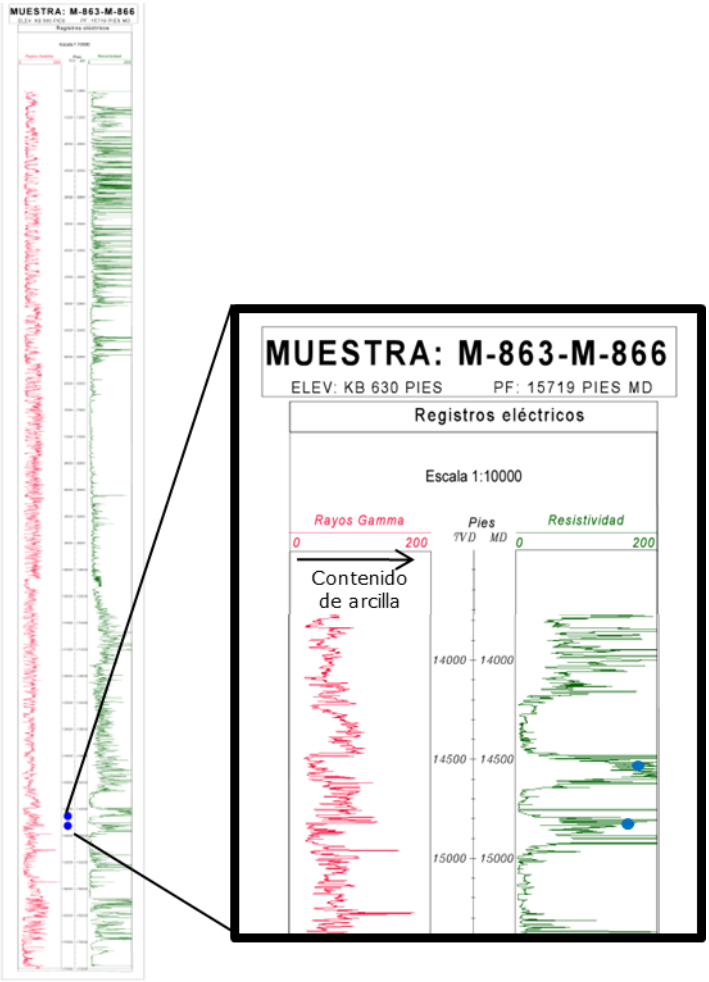


Figura 100. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada sódica en la Cuenca Barinas Apure. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fueron tomadas las muestras de agua M-863, M-864, M-865 y M-866 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-863, M-864, M-865 y M-866 (salobre).

En las proximidades de las muestras se identificaron fallas que se extienden desde la superficie hasta aproximadamente 19.000 pies de profundidad (Figura 21). Estas fallas están asociadas a los movimientos tectónicos responsables del levantamiento de la Cordillera de los Andes. Los procesos

hidrogeoquímicos que podrían explicar la presencia de esta composición química a tales profundidades incluyen: (1) el intercambio catiónico con las litologías del área, y (2) la posible infiltración de aguas superficiales a través de los elementos estructurales presentes en la zona, aspectos ambos a considerar en el capítulo VII de simulaciones fisicoquímicas.

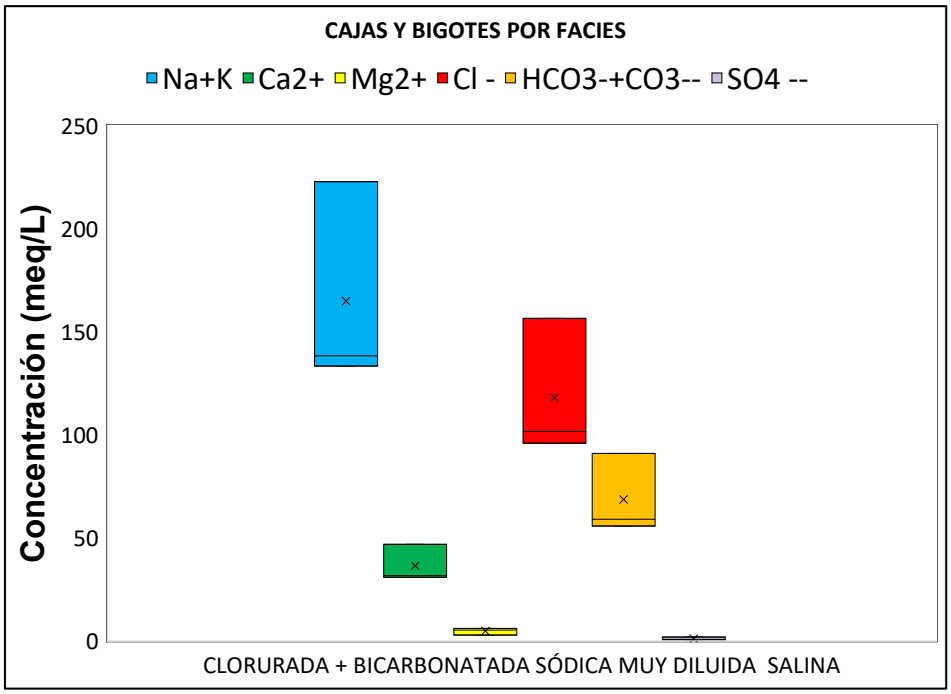
VI. 1. 2 Facies de aguas clorurada y bicarbonatada sódica

La facies de aguas cloruradas y bicarbonatadas sódicas se caracteriza por la predominancia de iones de cloruro, sodio y bicarbonato en su composición (Figura 28 y Figura 29a (cuadros de color fucsia) y Figura 101a). Esta clasificación se corresponde con la tipología clorurada sódica según Schoeller (1977) en Figura 40, presenta el patrón de embudo característico en los diagramas de Stiff (1951) en la Figura 42d, y se clasifica como clorurada sódico-potásica o sulfato sódica según Piper (1944), en la Figura 41. Según la clasificación de Sulin (1946), estas aguas corresponden a un tipo meteórico, lo que sugiere un proceso de dilución en el que aumenta la concentración de sodio en relación con el cloro (Figura 39 color azul). Esta facies puede interpretarse como el resultado de una mezcla entre agua meteórica y agua de formación.

Específicamente Appelo & Postma (2005) postula esta relación positiva entre los iones cloruro y bicarbonato para ambientes de depositación transicionales. Tales como: acuíferos costeros en proceso de mezcla o en zonas de disolución de evaporitas. El fenómeno ocurre porque existe el aporte desde ambas fuentes, ya que, durante el avance del frente de agua salada, se pueden incrementar ambos iones simultáneamente, dado la versatilidad del bicarbonato para estar en equilibrio. Asimismo, en zonas áridas con altas tasas de evaporación, todos los iones se saturan, por lo cual pueden incrementar en la misma proporción si no han alcanzado el nivel de saturación.

Esta facies está representada por tres de las muestras analizadas, todas ubicadas en la Subcuenca de Barinas. Fueron tomadas a una profundidad entre 9.000 y 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDII (Figura 101b). Presentan concentraciones de sólidos disueltos totales que oscilan entre 10.500 y 17.500 mg/L, lo que las clasifica como salinas.

a)



b)

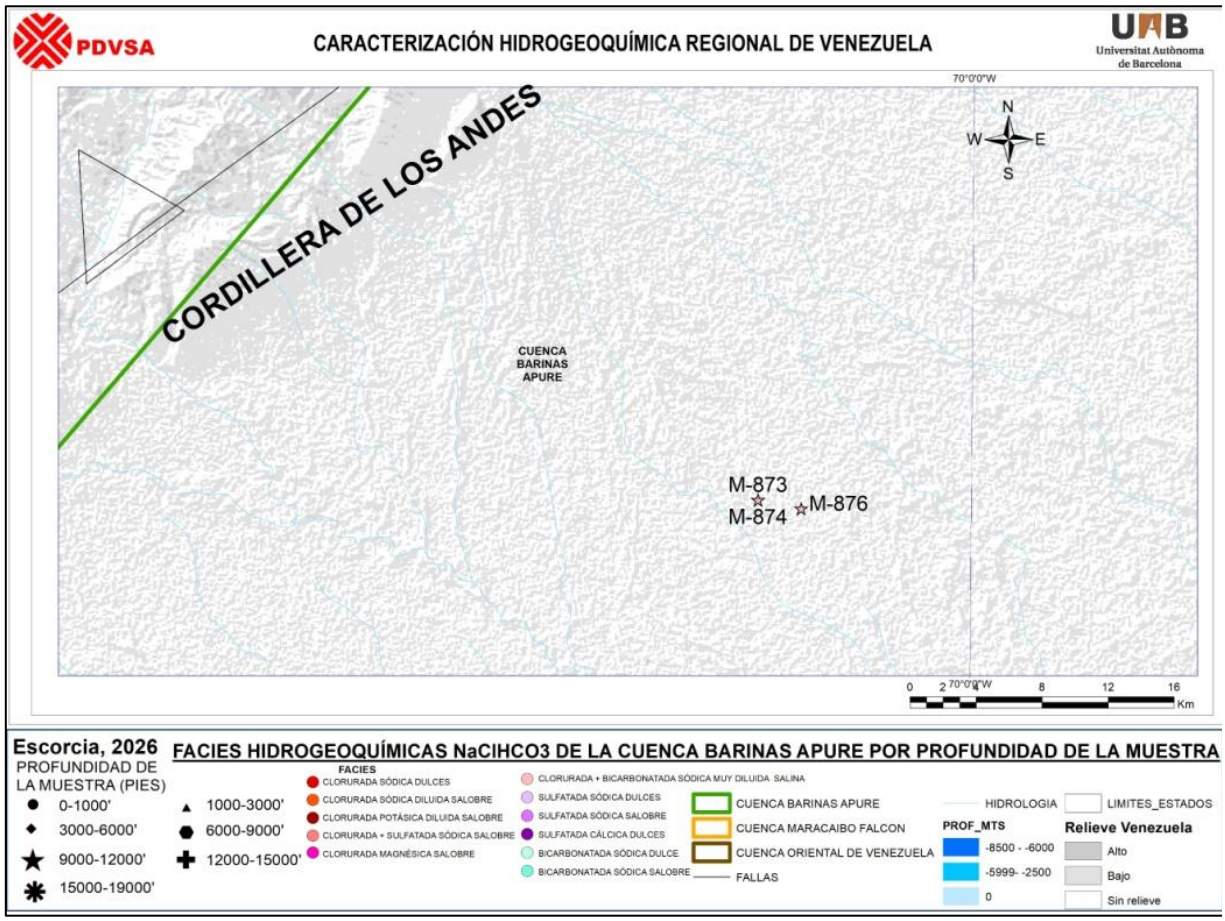


Figura 101. Caracterización de facies clorurada y bicarbonatada sódica en la Cuenca Barinas a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Ubicación de las muestras.

Desde el punto de vista geológico estas muestras se encuentran limitadas estratigráfica y estructuralmente a la Subcuenca de Barinas; no obstante, el aumento de la composición de bicarbonatos en la muestra en relación con un agua de formación podría indicar un proceso de intercambio iónico con las rocas carbonatadas en el área (Tabla 7). No se dispone de registros eléctricos de los puntos de muestreo; sin embargo, considerando que podría ser un agua de formación en un proceso de mezcla o intercambio con rocas carbonatadas, se esperaría un cambio de la lectura del registro de resistividad.

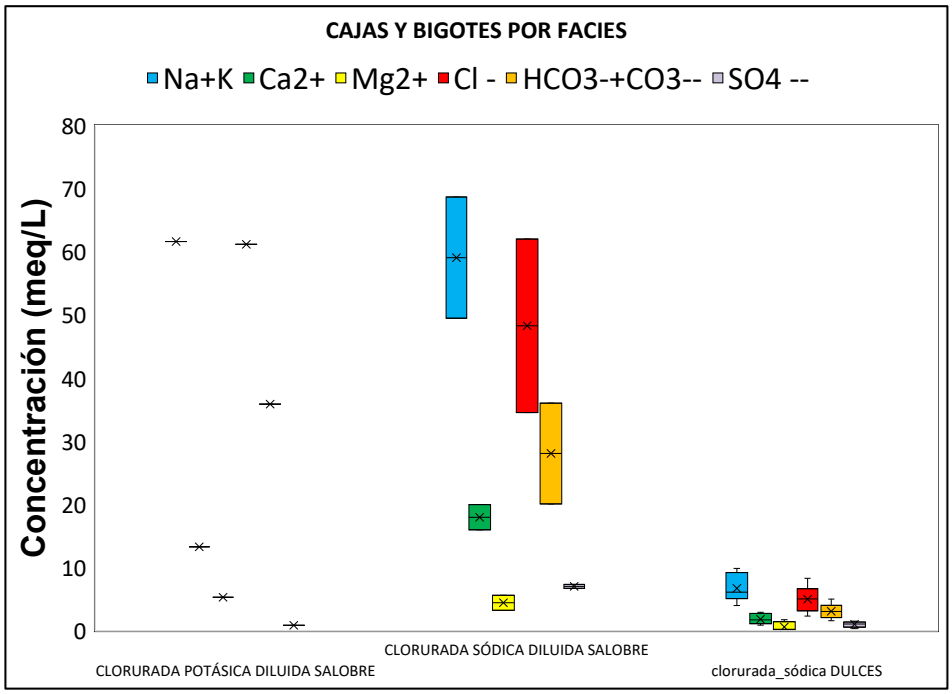
VI. 1. 3 Facies de aguas clorurada sódica

La facies de aguas cloruradas sódicas se define por la predominancia de iones de cloruro y sodio (Figura 25 y Figura 29a (cuadros de color fucsia) y Figura 102a. Esta clasificación se corresponde con la propuesta de Schoeller (1977) en Figura 40, para la facies clorurada sódica, presenta la forma de embudo característica en los diagramas de Stiff, (1951) en la Figura 42d y se clasifica como clorurada sódico-potásica o sulfato sódica según Piper (1944) en la Figura 41. Según la tipología de Sulin, (1946), nueve de las muestras corresponden a un tipo meteórico (con mayor concentración de sodio respecto al cloro), mientras que las dos restantes se clasifican como connatas, uno de estos casos corresponde a aguas cloruradas potásicas (Figura 39).

Esta facies está representada por once muestras, todas ubicadas en la Subcuenca de Barinas dentro de un intervalo de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDII (Figura 102). Ocho de ellas presentan concentraciones de sólidos disueltos totales (SDT) inferiores a 1.000 mg/L, clasificándose como dulces; las tres restantes muestran SDT entre 1.000 y 10.000 mg/L, lo que las clasifica como salobres.

Estos patrones sugieren ser el resultado de un proceso de mezcla prolongado en el tiempo, en el que interviene una fuente adicional de sodio junto a un proceso de dilución de los SDT. La correlación positiva entre cloruro y bicarbonato podría reflejar un aporte equilibrado de ambas fuentes, como se mencionó en la facies clorurada y bicarbonatada sódica (Appelo y Postma, 2005).

a



b

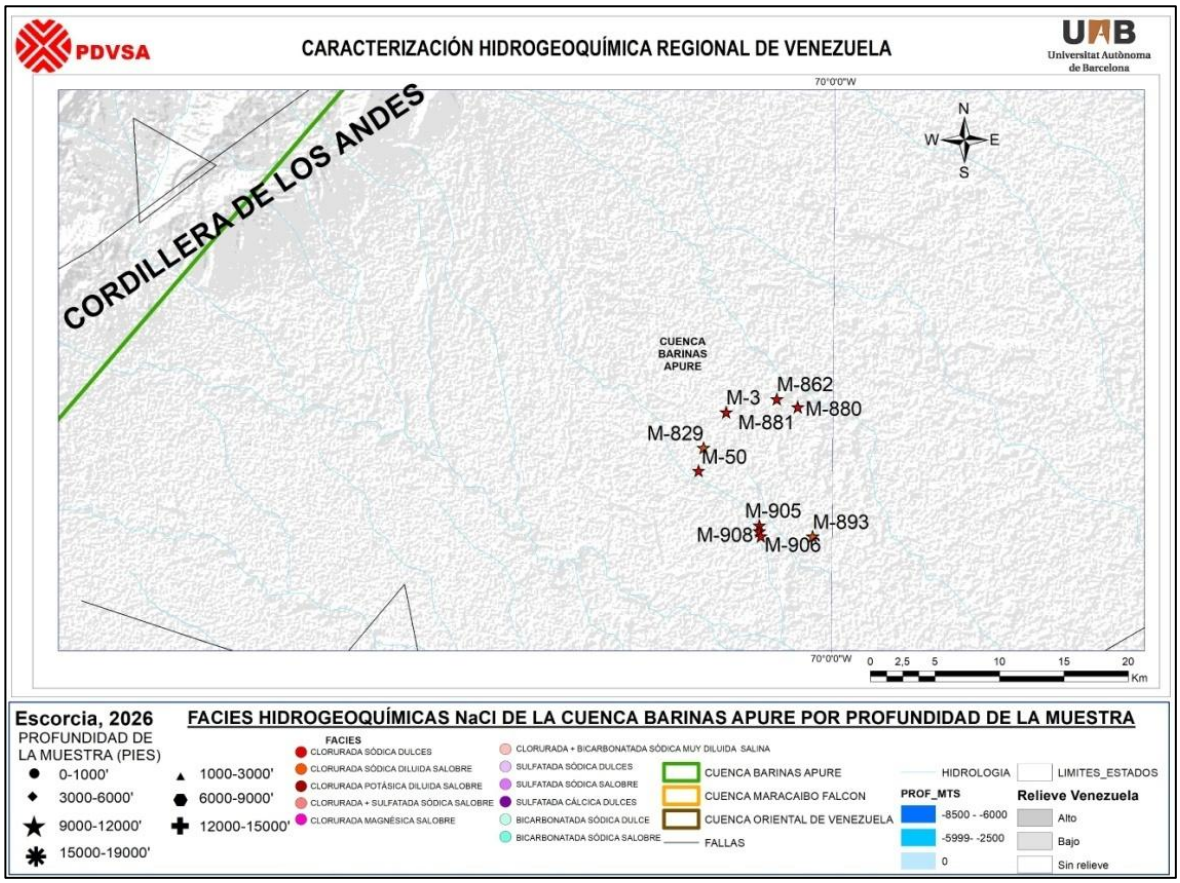


Figura 102. Caracterización de facies NaCl en la Cuenca Barinas Apure. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Ubicación de las muestras.

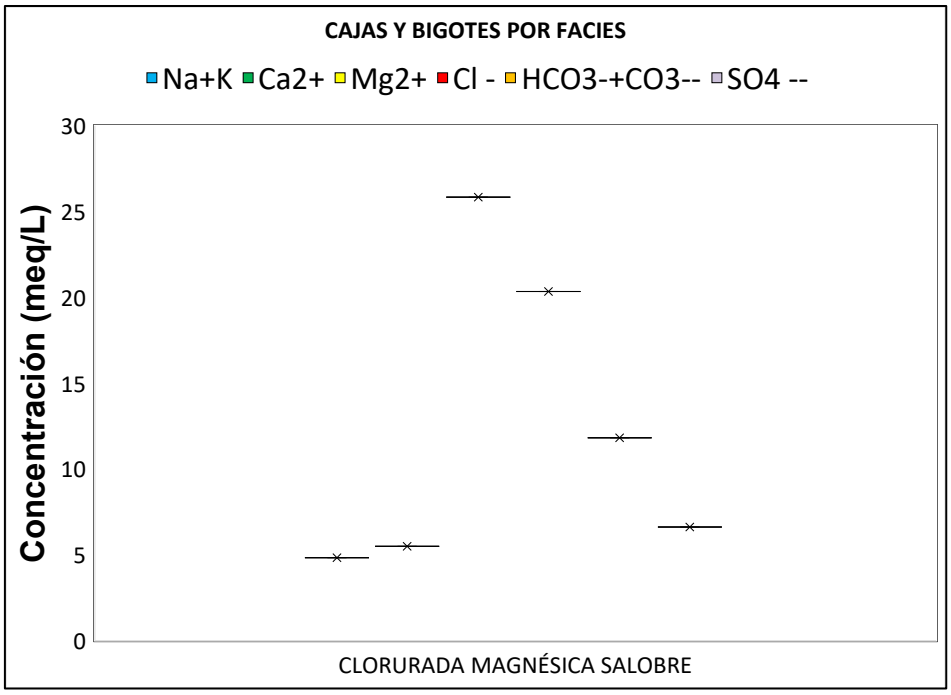
Desde el punto de vista geológico estas muestras se encuentran limitadas estratigráfica y estructuralmente a la Subcuenca de Barinas por lo cual pudieron mantener esta composición desde el momento de depositación, caracterizándola posiblemente como un agua de formación. No se dispone de registros eléctricos de los puntos de muestreo; sin embargo, considerando que podría ser un agua de formación con la cual se genera desde el punto de vista metodológico la curva de saturación de agua, no se esperaría un cambio de resistividad importante.

VI. 1. 4 Facies de aguas clorurada magnésica

La facies de aguas cloruradas magnésicas se define por la predominancia de iones de cloruro y sodio (Figura 25 y Figura 27 (cuadros de color verde)) y Figura 103a. Esta clasificación se corresponde con la propuesta de Schoeller (1977) en Figura 40 para la facies clorurada magnésica, e igual en los diagramas de Stiff (1951) en la Figura 42b y se clasifica como clorurada y sulfato cálcicas y magnésicas en según Piper (1944) en la Figura 41. Según la tipología de Sulin (1946), la muestra indica agua connata; coherente considerando que el ion mayoritario es cloruro (Figura 39).

La facies está compuesta por una (01) de las muestras analizadas, con sólidos disueltos totales en 2300 ppm (salobre) y se ubica en la Subcuenca de Barinas tomada en un rango de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros) en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDII (Figura 103b).

a
)



b)

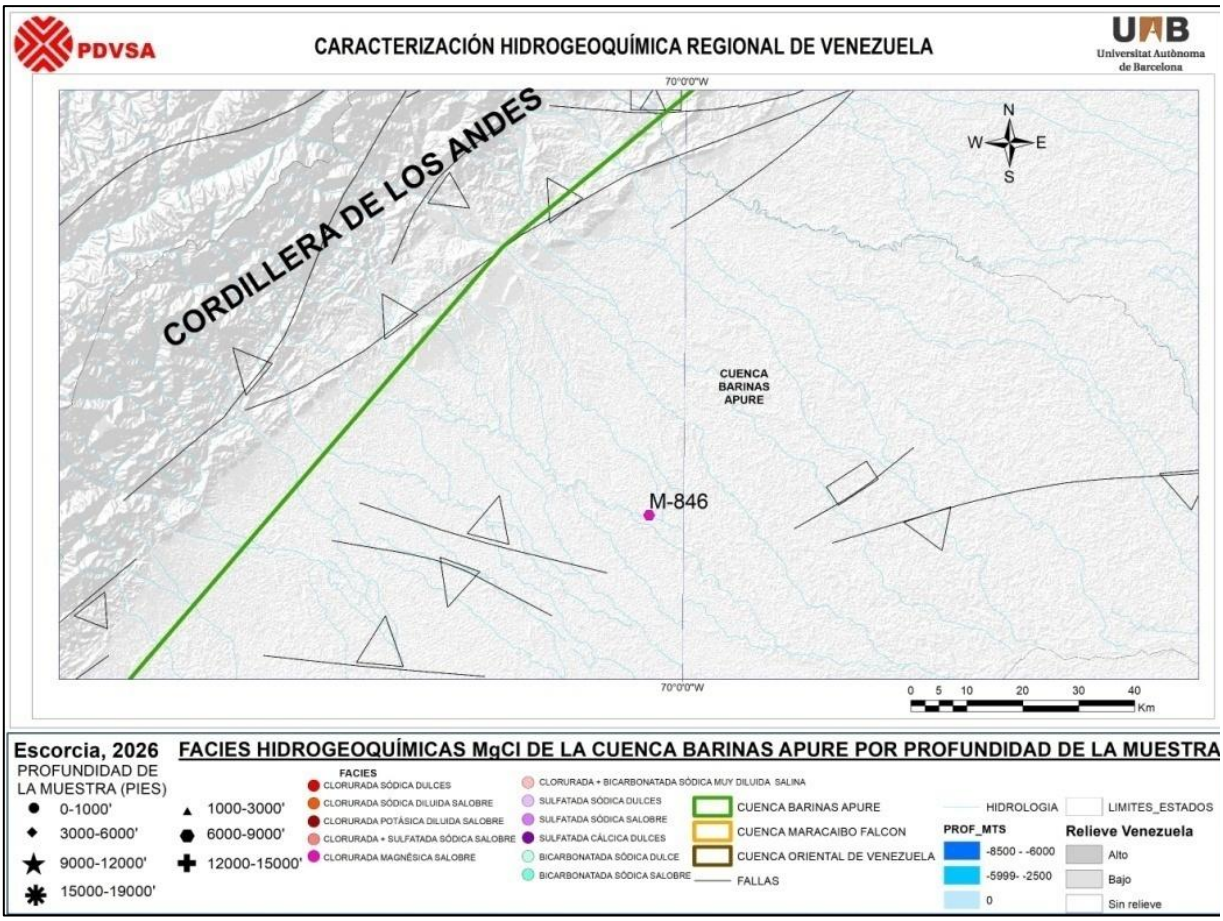


Figura 103. Caracterización de facies clorurada magnésica en la Cuenca Barinas Apure. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Ubicación de las muestras.

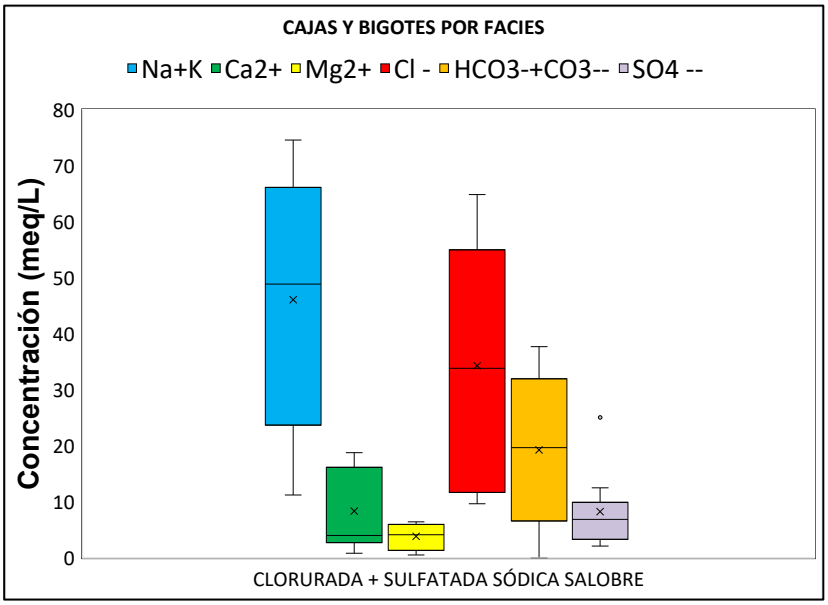
Desde el punto de vista geológico esta muestra se encuentra limitada estratigráfica y estructuralmente a la Subcuenca de Barinas por lo cual su composición pudiera ser el resultado de un proceso de intercambio iónico con rocas dolomías, de remoción del ion sodio o de ambos. No se dispone de registros eléctricos de los puntos de muestreo.

VI. 1. 5 Facies de aguas clorurada y sulfatada sódica

La facies de aguas cloruradas y sulfatadas sódicas se define por la predominancia de iones de cloruro y sodio (Figura 24 y Figura 25, cuadros y rombos de color verde y fucsia) y Figura 104a. Esta clasificación se corresponde con aguas cloruradas sódica en la propuesta de (Schoeller, 1977) en Figura 40, con una figura de (Stiff, 1951) característica de embudo en la Figura 42d y se clasifica como clorurada sódica y potásica o sulfato sódico según Piper (1944) en la Figura 41. En la clasificación de Sulin (1946) en la (Figura 39) las muestras indican agua meteórica.

La facies está compuesta por nueve (09) de las muestras analizadas con sólidos disueltos totales superiores desde 1.000 ppm a 7.000 ppm (salobres) y se ubican en la Cuenca de Barinas y Apure tomadas en el intervalo de profundidad de 6.000 a 12.000 pies (~2.000 a 4.000 metros) en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDII y UDVI (Figura 104b).

a)



b)

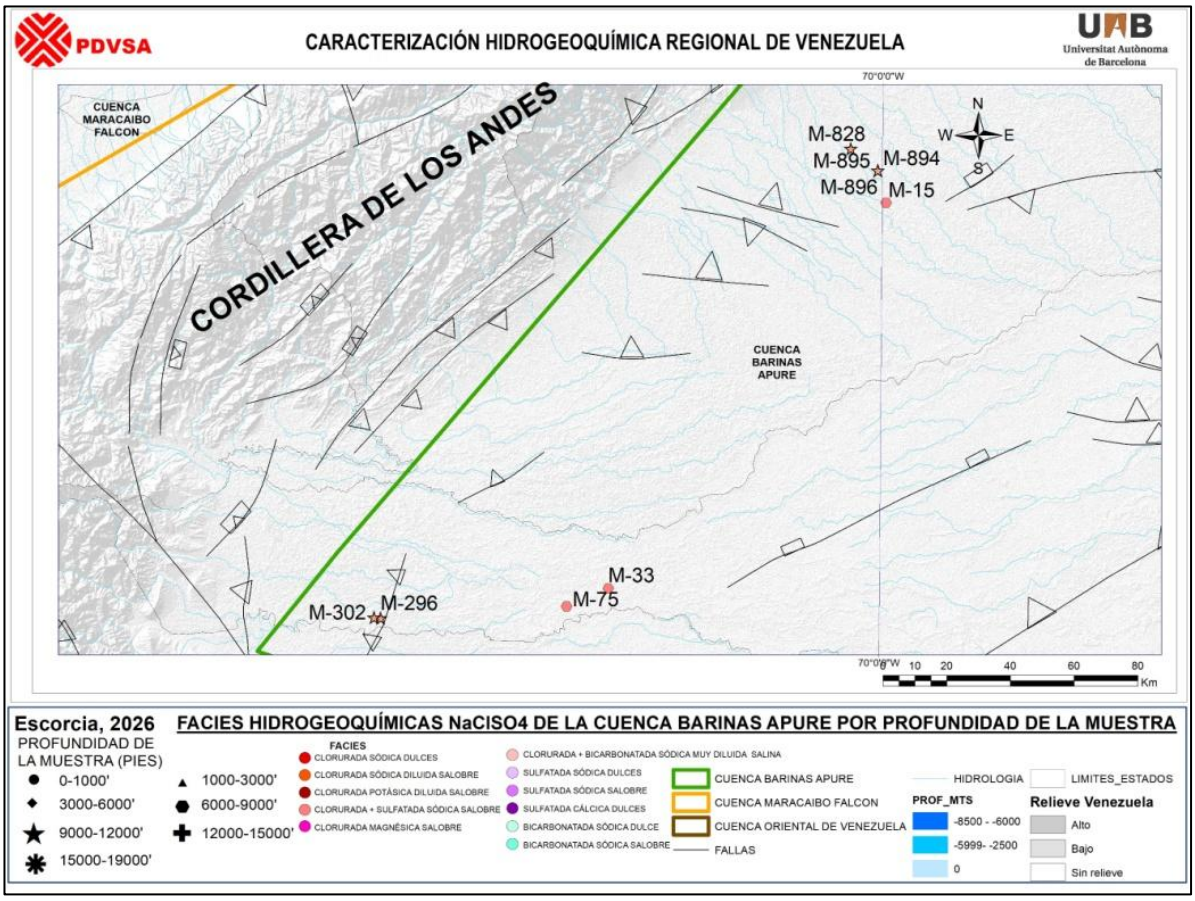


Figura 104. Caracterización de facies clorurada y sulfatada sódica en la Cuenca Barinas Apure. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada

caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Ubicación de las muestras.

Desde el punto de vista geológico se dispone de registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad del punto donde se tomaron las muestras M-32 y M-33 (muestra clorurada y sulfatada sódica) identificadas en la Figura 105 como círculos de color morado. No se observa un aumento significativo respecto a la línea de referencia para lo que fue descrito en un registro litológico como cuerpos de arena y observables en el registro de *gamma ray*. Adicionalmente, no existen elementos estructurales de importancia que los remarquen. Los procesos hidrogeoquímicos que se pueden deducir en esta facies un proceso de mezcla entre agua meteórica y aguas de intercambió iónico con rocas sulfatadas o también podrían ser el resultado de un proceso de mezcla primero de agua de formación con agua meteórica. Por ejemplo, una muestra de la facies clorurada-bicarbonatada sódica que luego entra en un proceso de enriquecimiento de sulfato por interacción con las rocas cercanas.

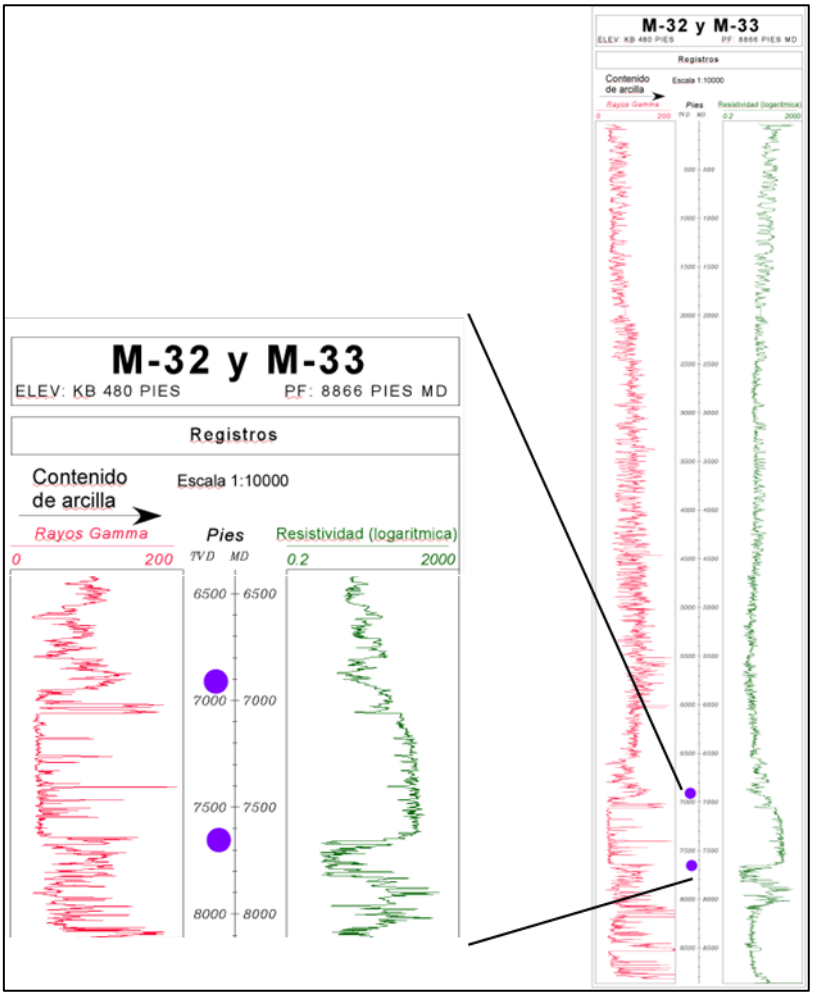


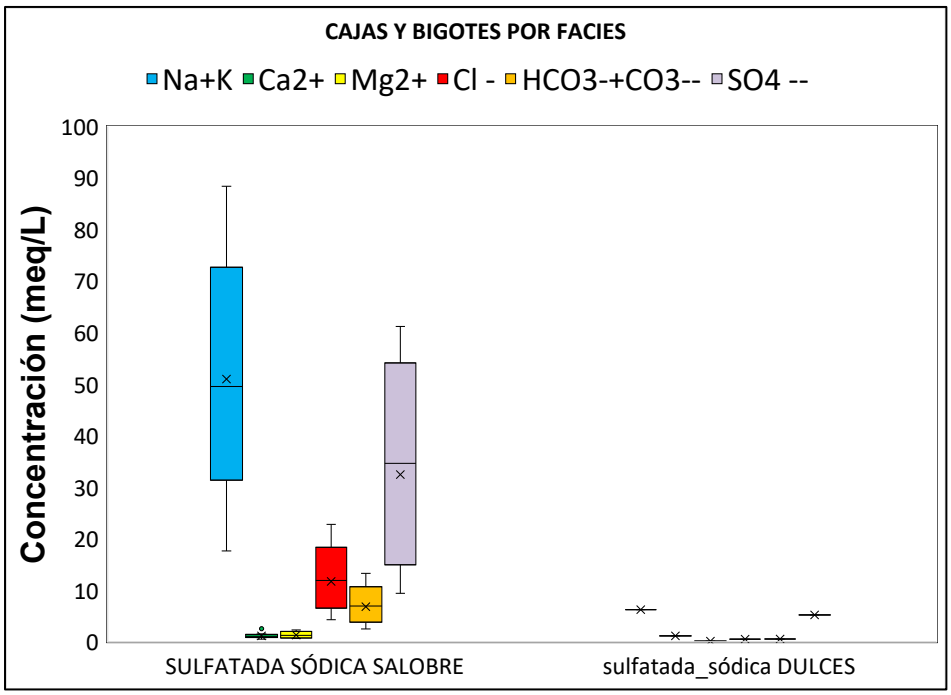
Figura 105. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies sulfatada sódica en la Cuenca Barinas Apure. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fueron tomadas las muestras de agua M-32, M-33 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-32, M-33 (salobre).

VI. 1. 6 Facies de aguas sulfatada sódica

La facies de aguas sulfatadas sódicas se define por la predominancia de estos iones (Figura 24 y Figura 25 (cuadros y rombos de color verde)); Figura 106ª y Schoeller, (1977) en Figura 40. Con una figura de Stiff, (1951) sulfatada en la Figura 42e y una clasificación clorurada sódica y potásica o sulfato sódico en Piper, (1944) en la Figura 41. En la clasificación de (Sulin, 1946) las muestras indican agua meteórica en la (Figura 39).

La facies está compuesta por doce (12) de las muestras analizadas tomadas en el intervalo de profundidad de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros). Los sólidos disueltos totales en la Subcuenca de Apure van desde 1400 pm a 6300 ppm (salobres) en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDV y UDVI y en la Subcuenca de Barinas se encuentra alrededor de los 500 ppm (dulce) en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDIV (Figura 106b).

a)



b)

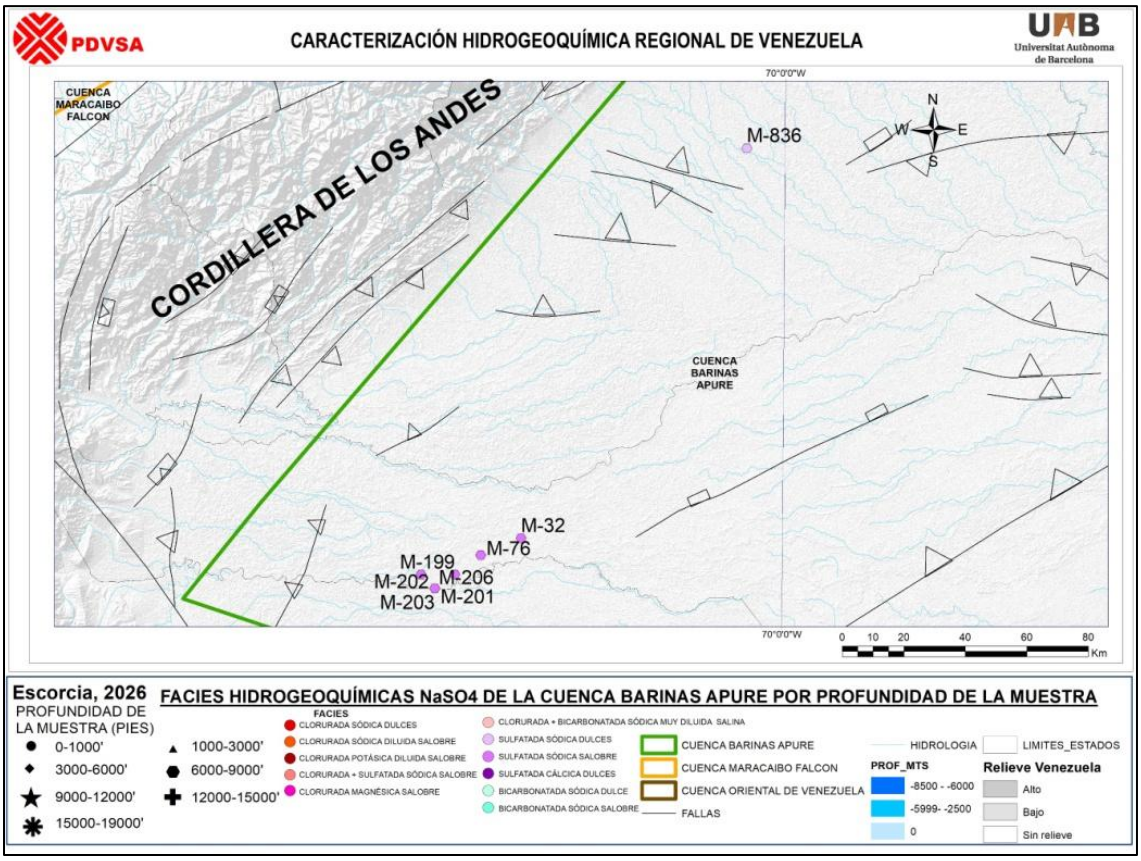


Figura 106. Caracterización de facies sulfatada sódica en la Cuenca Barinas Apure. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Mapa de ubicación de las muestras.

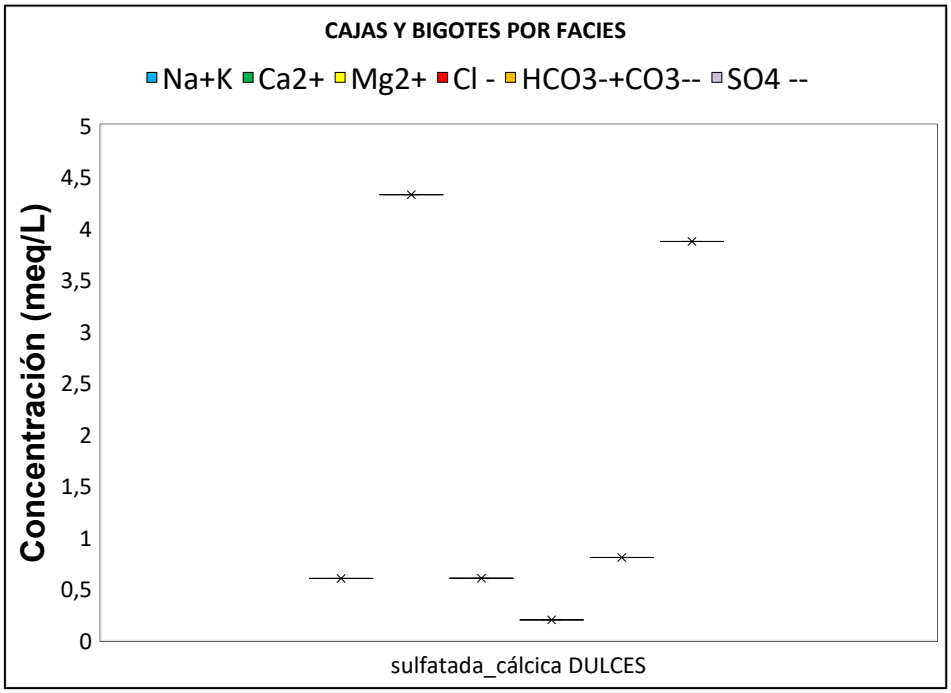
Desde el punto de vista geológico se dispone del registro eléctrico en la muestra M-32 (círculos de color morado en la Figura 105). Adicionalmente, no existen elementos estructurales de importancia que los remarquen. Los procesos hidrogeoquímicos que podrían estar relacionados con la presencia de este tipo de composición química pudieran ser de intercambio catiónico con las litologías sulfatadas en el área o por un proceso de oxidación de minerales accesorios como pirita.

VI. 1. 7 Facies de aguas sulfatada cálcica

La facies de aguas cloruradas cálcicas se define por la predominancia de iones de cloruro y calcio (Figura 33 (cuadro azul)) y Figura 107a. Esta clasificación se corresponde con aguas cloruradas cálcica en la propuesta de Schoeller, (1977) en Figura 40, con una figura de (Stiff, 1951) sulfatada en la Figura 42e y se clasifica como clasificación clorurada y sulfato cálcicas y magnésicas según Piper, (1944) en la Figura 41. En la clasificación de (Sulin, 1946) en la (Figura 39) las muestras indican agua meteórica. Adicionalmente, los iones minoritarios indican un tiempo medio de residencia o una concentración de sílice superior a la esperada, lo cual pudiera ocurrir considerando la temperatura de 117°C a la cual fue tomada.

La facies está compuesta por una (01) de las muestras analizadas sólidos disueltos totales en 350 ppm (dulces), y se ubica sobre la Cordillera de los Andes tomadas en superficie en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDII. En la clasificación de Sulin (1946) las muestras indican agua meteórica.

a)



b)

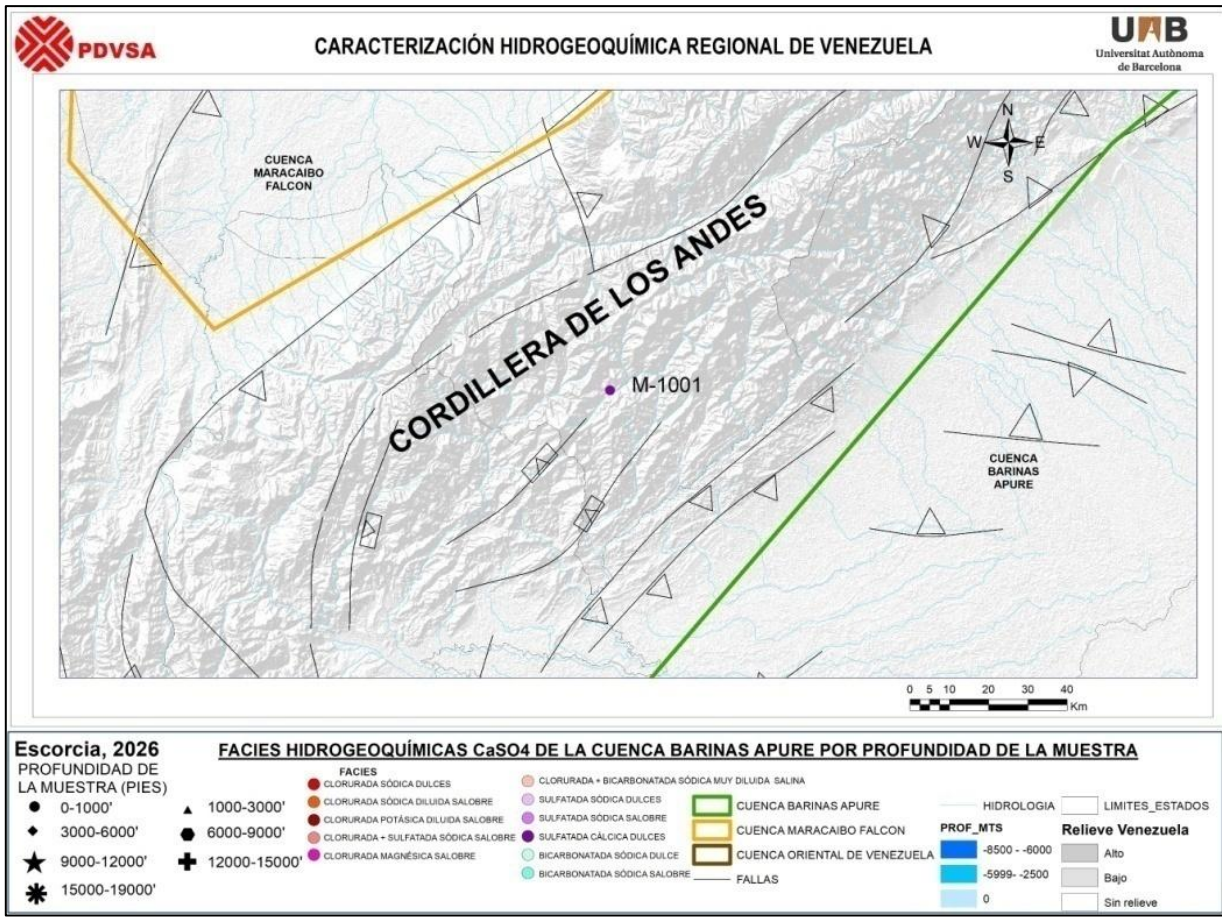


Figura 107. Caracterización de facies $CaSO_4$ en la Cuenca Barinas Apure. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Ubicación de las muestras.

Desde el punto de vista geológico esta muestra se encuentra sobre la Cordillera de los Andes donde se encuentran aflorando litologías con edades de depositación desde el Pre-Cámbrico, donde los elementos minoritarios indican el alto tiempo de residencia y donde se puede deducir un proceso de intercambio iónico.

VI. 1. 8 Distribución vertical de las facies

Tras la caracterización de las facies, se analizó la distribución vertical de las muestras para identificar los posibles procesos hidrogeoquímicos que controlan su composición. Los resultados por intervalos de profundidad se detallan a continuación:

- Intervalo de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros): Predominan las aguas bicarbonatadas sódicas (Figura 99) y aguas sulfatadas cálcicas (Figura 107). Las primeras sugieren un sistema en equilibrio con agua de lluvia y la infiltración de CO_2 atmosférico. Las segundas se asocian a procesos de interacción agua-roca, específicamente con minerales sulfatados.

- Intervalo de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros): Se identificaron facies sulfatadas sódicas (Figura 106), facies clorurada y sulfatada sódica (Figura 104) y facies clorurada magnésica (Figura 103). Estas muestras se restringen a dos áreas geográficas donde los procesos de mezcla o interacción con rocas sulfatadas y aguas de formación muestran una tendencia de este a oeste.

- Intervalo de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros): Se observa una mayor diversidad, con cinco facies principales clorurada sódica (dulce y diluida), clorurada potásica (Figura 102), clorurada- bicarbonatada sódica (Figura 101) y clorurada - sulfatada sódica (Figura 104).

    - Hacia el sureste las muestras cloruradas-sulfatadas sugieren la continuidad de los procesos descritos en el intervalo superior.

    - Hacia el norte de la cuenca, los mecanismos de mezcla son más complejos. Al noroeste, la presencia de facies cloruradas-bicarbonatadas indica una posible interacción con rocas carbonatadas o dilución con aguas dulces.

    - Para las facies cloruradas-sulfatadas en este rango, se postula una interacción con minerales sulfatados y/o la oxidación de pirita.

- Intervalo de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros): A profundidades mayores, solo se halló evidencia de la facies bicarbonatada sódica (Figura 99).

VI. 2. Facies hidrogeoquímicas Cuenca Maracaibo Falcón

El análisis de las relaciones elementales y la clasificación de las muestras de agua de acuerdo con los diferentes autores ha permitido distinguir facies que se pueden relacionar entre sí. En la Cuenca Maracaibo Falcón se han identificado 28 facies hidrogeoquímicas, que pueden agruparse de acuerdo con sus iones mayoritarios en siete. Estos se describen a continuación y han sido

resumidas en la

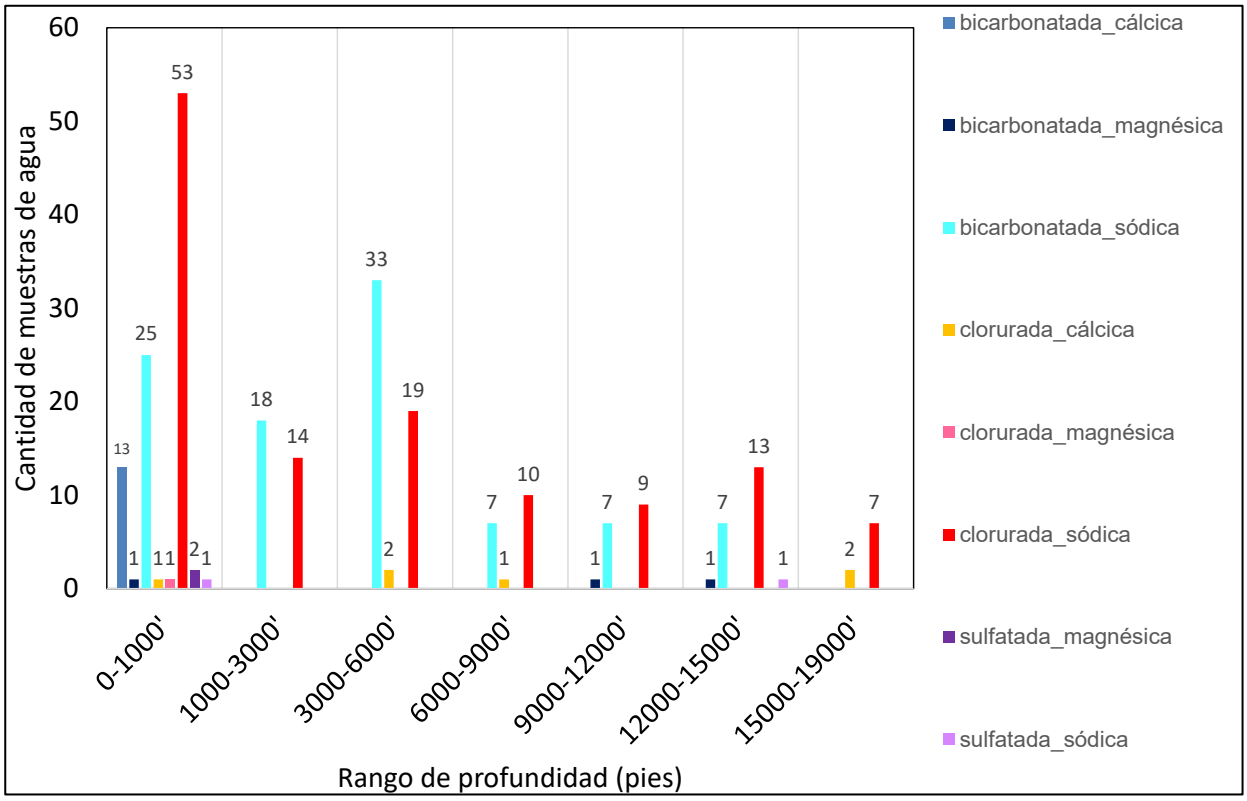


Figura 108. Diagrama de columnas con la cantidad de muestras en cada facies hidrogeoquímica en la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con el rango de profundidad en la cual fue tomada la muestra.

Tabla 41 y en la Figura 108.

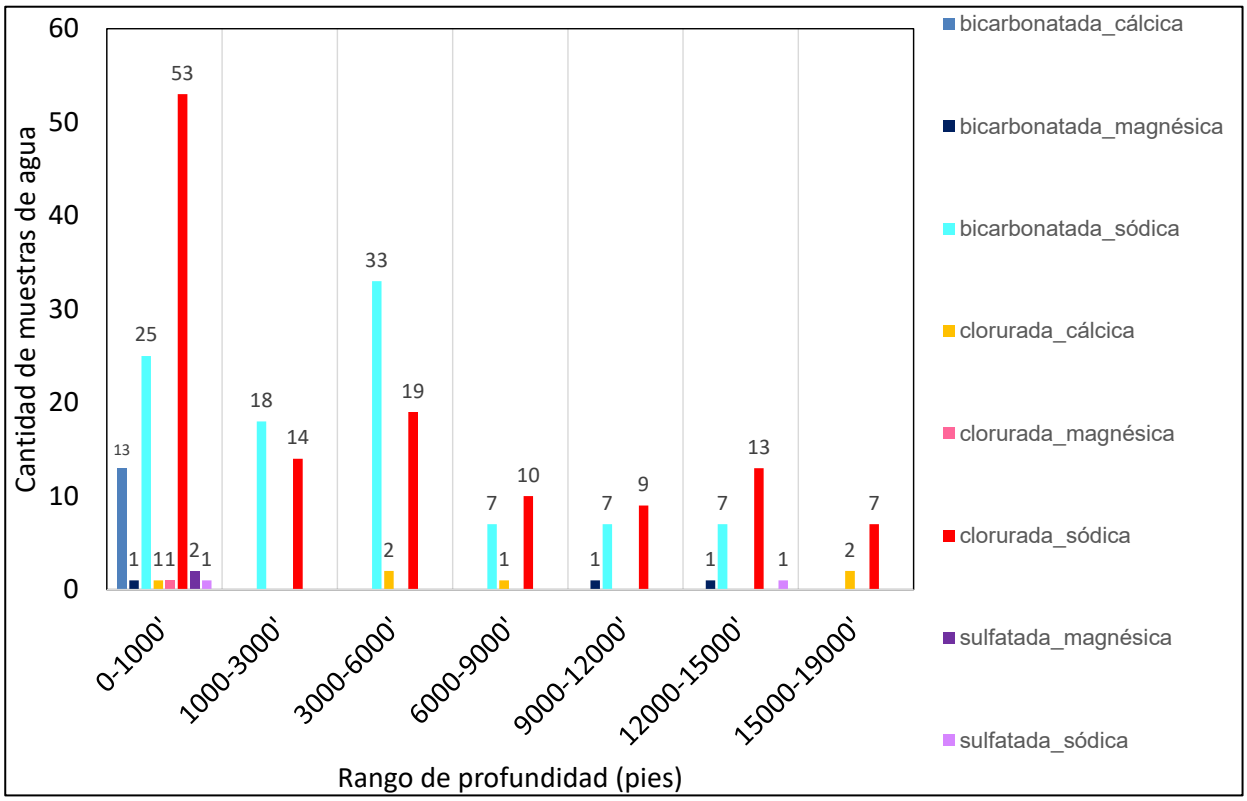


Figura 108. Diagrama de columnas con la cantidad de muestras en cada facies hidrogeoquímica en la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con el rango de profundidad en la cual fue tomada la muestra.

Tabla 41. Resumen de las clasificaciones utilizadas en la caracterización hidrogeoquímica para la identificación de las facies hidrogeoquímicas en la Cuenca Maracaibo Falcón: NaCl: Facies Clorurada sódicas, $CaCl_2$: Facies Clorurada cálcica; $MgCl_2$: Facies Clorurada magnésica; SO_4: Facies sulfatadas; $NaHCO_3$: Facies bicarbonatadas sódicas; $CaHCO_3$: Facies bicarbonatadas cálcica; $MgHCO_3$: Facies bicarbonatadas magnésica.

Clasificación e indicador	Autor	Categorías	Facies Hidrogeoquímica Cuenca Maracaibo Falcón						
			NaCl	$CaCl_2$	$MgCl_2$	SO_4	$NaHCO_3$	$CaHCO_3$	$MgHCO_3$
Concentración SDT (ppm)	Hem (1970)	Dulces	■		■	■	■	■	■
		Salobres	■	■		■	■	■	
		Salinas	■				■		■
		Salmueras	■	■		■			
Relaciones Inter elementales Aniones y cationes (meq/L)	Varios	Dulce	■	■	■	■	■	■	■
		Dulce (+ Ca y/o Mg)						■	
		Dulce (+Ca)						■	
		Dulce (+Cl^-)	■				■		
		Dulce (+Cl-) O Connata (Ca>Mg)	■						
		Dulce (+Mg)	■						
		Dulce (Algunas + Ca y/o Mg)	■				■		
		Dulce (Algunas +Cl^-)					■		
		Dulce (Algunas +Mg)					■		
		Dulce (Ca>Mg)					■		
		Dulce (-SO_4)	■				■	■	
		Dulce O Connata Muy Diluida	■				■		
		Mezcla ($CaCl_2$)		■					
		Mezcla ($CaCl_2$-HCO_3)		■					
		Connata	■						
		Connata (+Cl, +Ca, ~+Mg)	■						
		Connata (+Cl, +Ca, ~+Mg) Algunas +SO_4 Y -Cl	■	■					
		Connata Diluida	■						
		Connata Muy Diluida	■				■	■	■
		Connata Muy Diluida (~+Mg) (+Cl)	■						
		Connata Muy Diluida (+HCO_3^-)	■						
		Connata Muy Diluida (+Mg^{2+})	■						
		Connata Muy Diluida (+SO_4)				■			

Continuación Tabla 41

Clasificación e indicador	Autor	Categorías	Facies Hidrogeoquímica Cuenca Maracaibo Falcón						
			NaCl	$CaCl_2$	$MgCl_2$	SO_4	$NaHCO_3$	$CaHCO_3$	$MgHCO_3$
Tipo de agua NaCl	Sulin (1946)	Meteórica							
		Connata							
Logarítmica Aniones y cationes (meq/L)	Schoeller (1977)	Clorurada Sódica							
		Clorurada Cálcica							
		Clorurada Magnésica							
		Sulfatada Sódica							
		Sulfatada Magnésica							
		Bicarbonatada Sódica							
		Bicarbonatada Cálcica							
		Bicarbonatada Magnésica							
Triángulo Aniones y cationes (meq/L)	Piper (1944)	Bicarbonatadas Sódicas y Potásicas							
		Bicarbonatadas cálcicas y magnésicas							
		Clorurada Sódica y Potásica o Sulfato Sódicas							
		Clorurada y Sulfato Cálcicas y Magnésicas							
Patrones gráficos Aniones y cationes (meq/L)	Stiff (1951)	Clorurada sódica							
		Clorurada sódica Diluido							
		Clorurada Cálcica							
		Clorurada Magnésica							
		Sulfatadas							
		Bicarbonatada sódica							
		Bicarbonatada cálcica							
		Bicarbonatada Magnésica							
Isótopos $\delta^{18}O$ y $\delta^{2}H$	Doménico y Schuwartz (1990)	Interacción con rocas en el medio y con los HC							

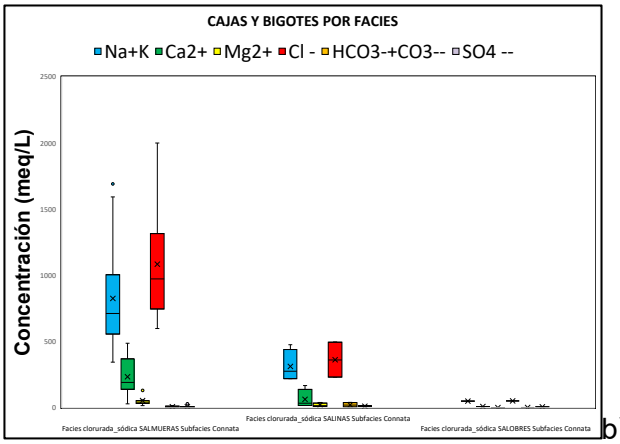
VI. 2. 1 Facies de aguas clorurada sódica

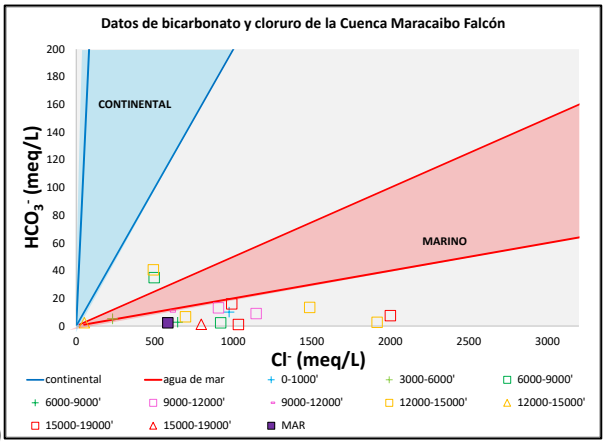
Las muestras con facies de aguas cloruradas sódicas son aquellas donde estos iones tienen la composición mayoritaria, clasificadas así en Schoeller (1977), Figura 64. Sin embargo, como resultado de los procesos hidrogeoquímicos, existen pocas muestras con una clasificación característica por lo cual se discretizaron cinco (05) subfacies con esta composición, en base a un posible porcentaje de mezcla con aguas dulces.

<u>Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como connatas</u>

Estas muestras fueron identificadas como aguas connatas según Sulin (1946) (Figura 63), con un patrón de Stiff (1951) en la Figura 66f de un embudo bien definido. El análisis iónico indica un predominio connato y clorurado sódico, con calcio y magnesio en correlación positiva con cloruro (Figura 109 y Figura 118). Se clasifican en el extremo superior de las aguas clorurada sódico-potásica o sulfato sódica según Piper, (1944) en la Figura 118 (polígono vinotinto). El análisis de elementos minoritarios indica posibles condiciones reductoras y, en cuatro casos puntuales, posible dilución de dolomía, validado por la relación de magnesio y bicarbonato, proceso que podría simularse en el capítulo siguiente.

La subfacies está compuesta por diecisiete muestras ausentes entre 1.000 y 3.000 pies (~300–900 m), se ubica en reservorios equivalentes a las UDII, UDIV, UDVII y UDVIII: una es salobre (SDT: 1.000–10.000 mg/L), cuatro son salinas (10.000–35.000 mg/L) y doce son salmueras. Esta subfacies podría relacionarse con aguas de formación descritas como aquellas que se encuentran en la roca al momento de la depositación. Se encuentran al norte de la Cuenca de Falcón y al suroeste de la Cuenca de Maracaibo; cercanas a fallas principales. Podría ser un indicativo de fallas sellantes (Figura 118).

a) 

b) 

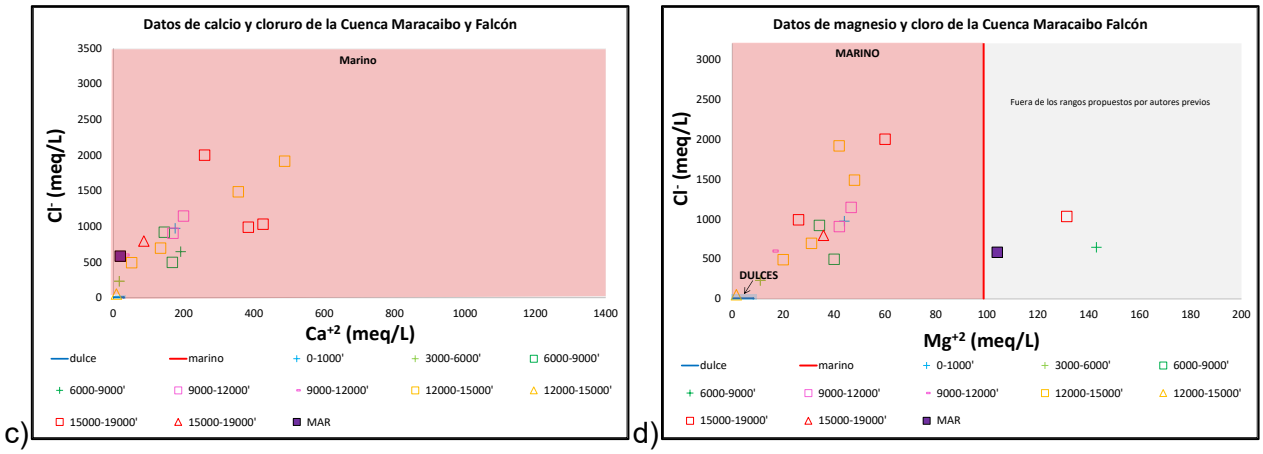
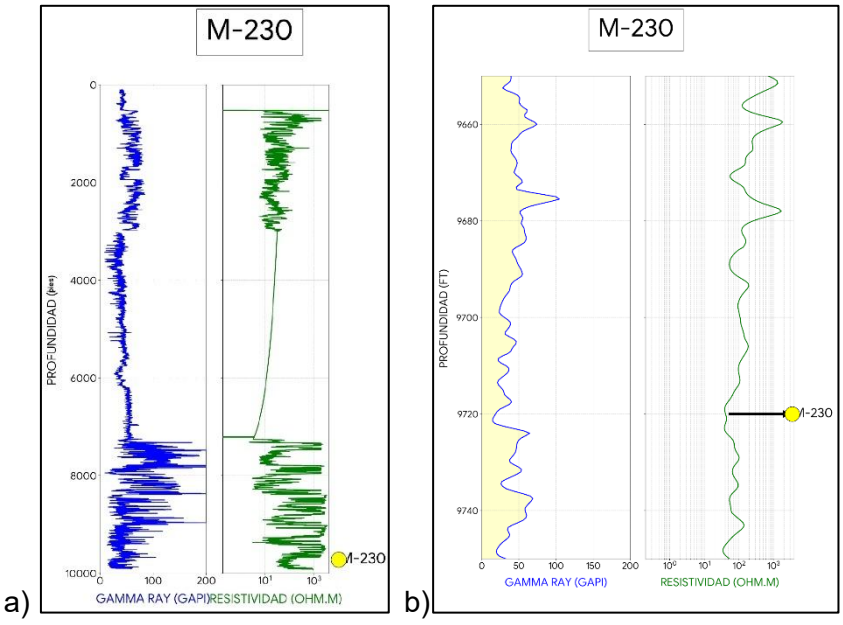


Figura 109. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies connatas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a cloruro. d) Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en los puntos de muestreo M-230 y M-231 (identificados en la Figura 110 con círculos amarillos). En estos registros se observan bajos valores de resistividad, que corresponden a lo descrito en la litología y/o *gamma ray* como posibles cuerpos de arena. No se observa la respuesta del registro a la presencia de la muestra de agua, ni diferencias en relación con la cantidad de sólidos disueltos totales.



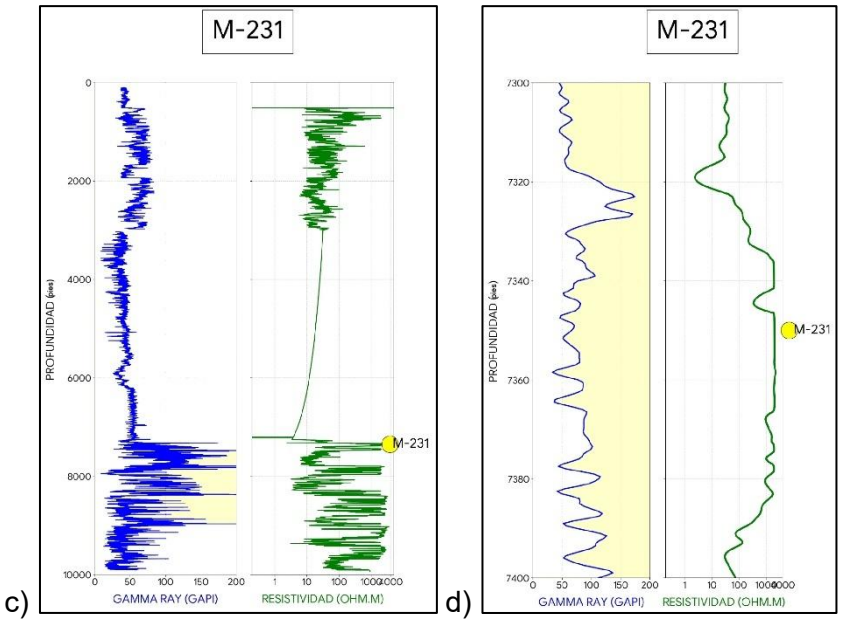


Figura 110. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica subfacies connatas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-230 (salmuera). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-230 (salmuera). c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-231 (salina). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-231 (salina).

Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como connatas diluidas

En esta subfacies ya pareciera existir un proceso de mezcla con aguas de composiciones diferentes, donde la clasificación de Sulin (1946) varía con 8 muestras connatas y ocho muestras meteóricas (Figura 63). El patrón de Stiff (1951) en la Figura 66f sigue siendo un embudo bien definido, clasificándose en el lado derecho del rombo de las aguas cloruradas sódico-potásica o sulfato sódica según Piper (1944) en la Figura 118 (polígono rojo). Pudiendo indicar esto una mezcla de aguas superficiales-meteóricas con aguas profundas de formación a diferentes proporciones de mezcla según profundidad o tiempo de residencia.

De acuerdo con el análisis de iones mayoritarios y minoritarios estas muestras son predominantemente connatas diluidas a muy diluidas y cloruradas sódicas. Ya en esta subfacies la relación entre el bicarbonato y el cloruro indican un agua tipo dulce, Sin embargo, la relación de calcio y sodio positiva se mantienen con el cloruro (Figura 111) y con posibles condiciones reductoras en el Eh del medio y dilución de minerales como feldespatos y/o dolomías (Figura 118).

La subfacies está compuesta por dieciséis (16) de las muestras analizadas, ausentes en el intervalo de profundidad de 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDIV, UDV, UDVII y UDVIII. Trece son salobres (SDT: 1.000–10.000

mg/L) y tres son salinas (10.000 a 35.000 mg/L). Esta subfacies podría relacionarse con aguas de formación en ambientes transicionales. Se encuentran mayoritariamente al noreste de la Cuenca de Falcón (Figura 118). La ausencia de estas subfacies en el intervalo más profundo puede deberse mayormente a dos escenarios: si existe, pero no es una de las muestras en la base de datos, o los sedimentos de la Cuenca de Falcón no son tan profundos y dada su ubicación preferencial, no existen a esa profundidad.

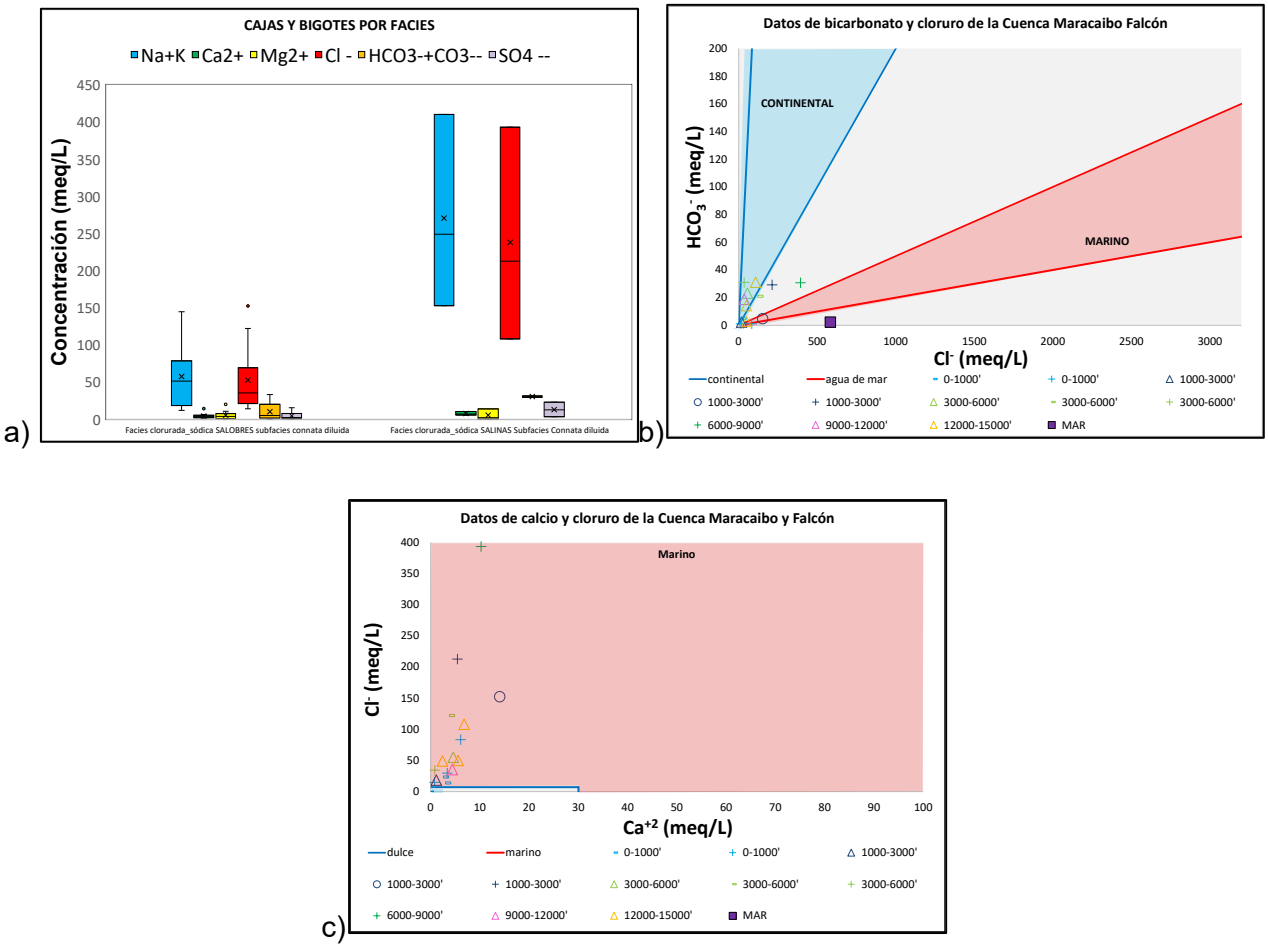


Figura 111. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies connatas diluidas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en el punto de muestreo M-29 (identificado en la Figura 112 con círculo amarillo). En estos registros se observan bajos valores de resistividad, por lo que pareciera que la respuesta del registro era parte de la línea base.

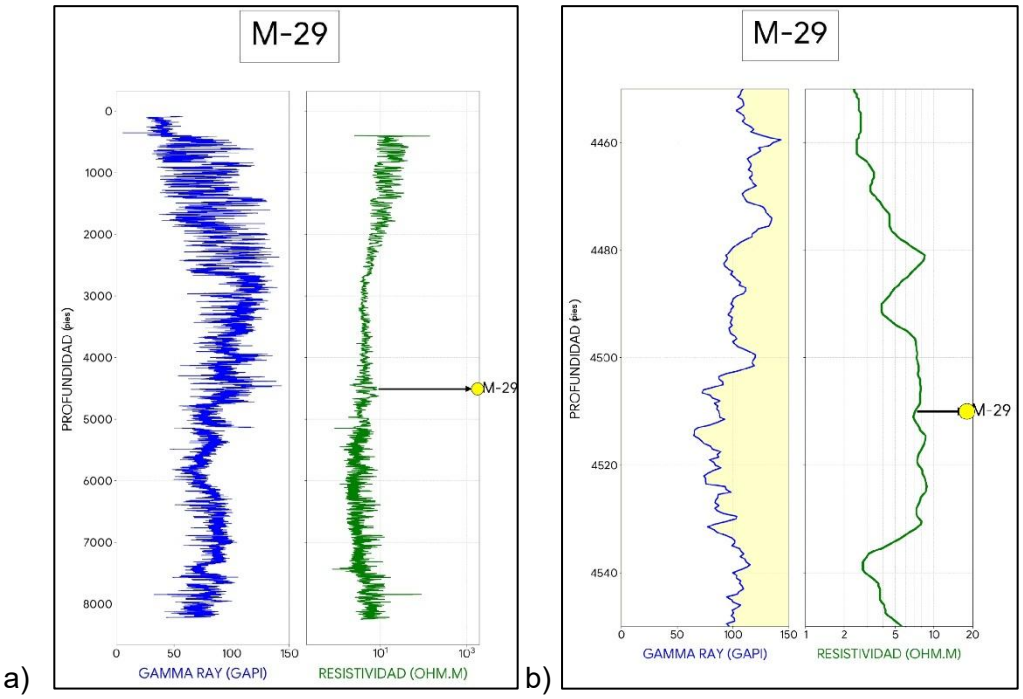


Figura 112.Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica subfacies connatas diluidas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-29 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-29 (salobre).

Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como dulces con alta cantidad de sólidos disueltos totales

En esta subfacies el proceso de mezcla entre aguas someras y profundas se intensifica, por lo que en la clasificación de Sulin (1946) existen 13 muestras de aguas connatas y cuarenta y cuatro (44) muestras de aguas meteóricas (Figura 63). Para estas muestras, el patrón de Stiff (1951) en la Figura 66f es un embudo, clasificándose en el rombo de las aguas cloruradas sódico-potásica o sulfato sódica o en algunos casos cloruradas y sulfato cálcicas y magnésicas según Piper (1944) en la Figura 118 (polígono naranja).

Conforme con el análisis de iones mayoritarios y minoritarios estas muestras son dulces (Figura 113). Nuevamente en el diagrama de cloruro y bicarbonato las muestras se encuentran mayoritariamente en el área de aguas continentales, la relación de calcio con cloruro no es tan evidentes; sin embargo, es el catión secundario en abundancia. De acuerdo con los análisis minoritarios para las muestras tomadas entre 3.000 y 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) existe la posible dilución de minerales como halita en las muestras de agua y concentraciones de sílice indicativas de tiempos medios a altos de residencia; por último, en el intervalo de 0 a 1000 pies las muestras tienen una temperatura superior a la esperada.

La subfacies está compuesta por sesenta (60) de las muestras de agua analizadas, tomadas en todos los intervalos de profundidad, en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDII, UDIV, UDVII y UDVIII. Asimismo, la concentración de SDT clasifica: cuarenta y dos (42) de las muestras como salobres, doce (12) como salinas y tres (03) se encuentran en el rango de salmueras. Esta subfacies podría relacionarse con aguas de formación en ambientes transicionales o un ambiente de mezcla entre agua de formación y agua dulce, por lo cual existe un aporte adicional de sodio. Se encuentran en el Lago de Maracaibo y hacia la Cuenca de Falcón (Figura 118).

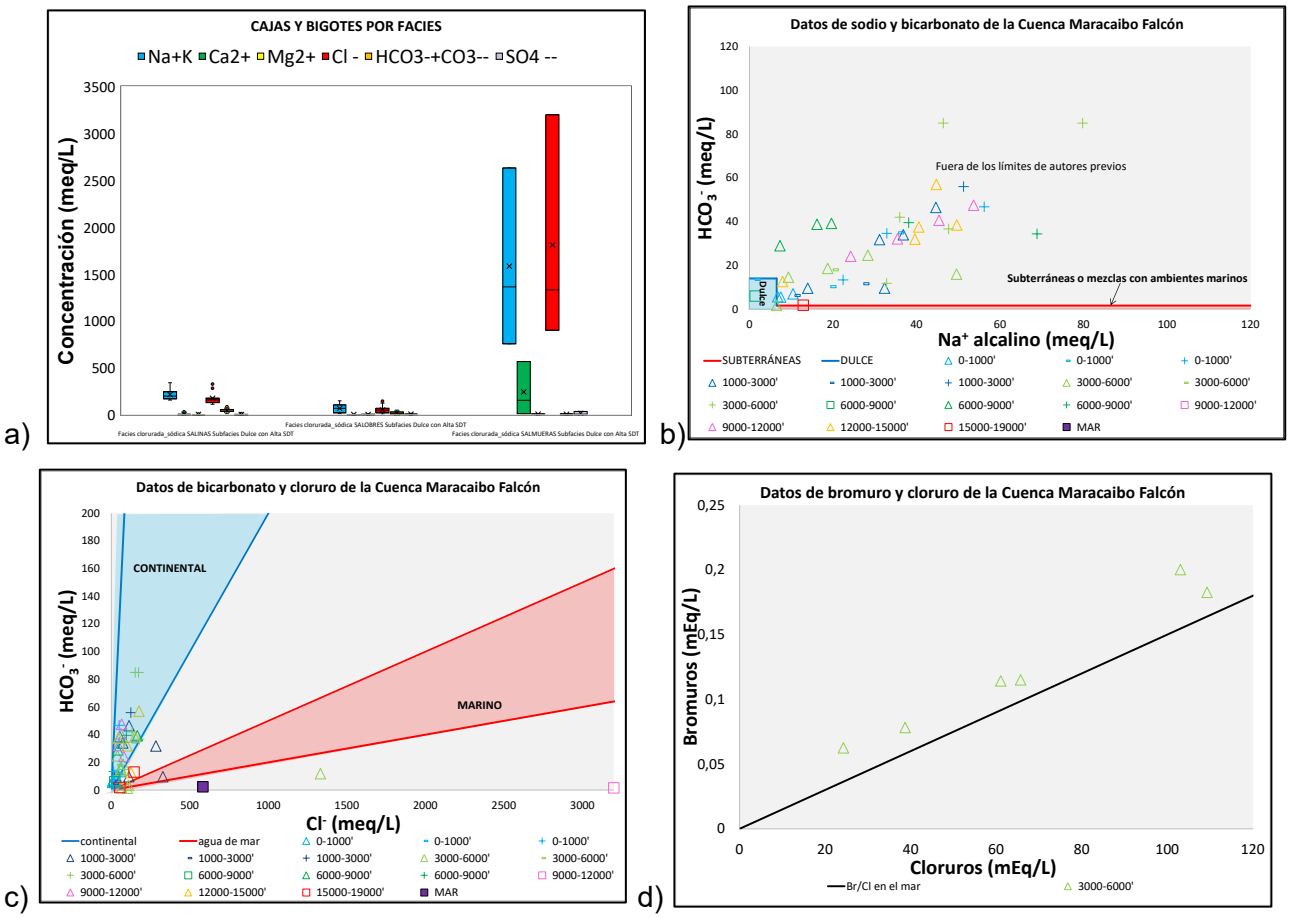


Figura 113. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies dulces con alta SDT en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de sodio alcalino c) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. d) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bromuros. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en los puntos de muestreo M-10 y M-644 (identificados en la Figura 114 con círculos amarillos). En estos registros se observan bajos valores de resistividad, que corresponden a lo descrito en la litología y/o *gamma ray* como posibles cuerpos de arena, por lo cual la presencia de la facies no

pareciera interferir en la lectura del registro. En esta subfacies indiferente de la cantidad de sólidos disueltos la respuesta se mantiene en una posible línea base del registro.

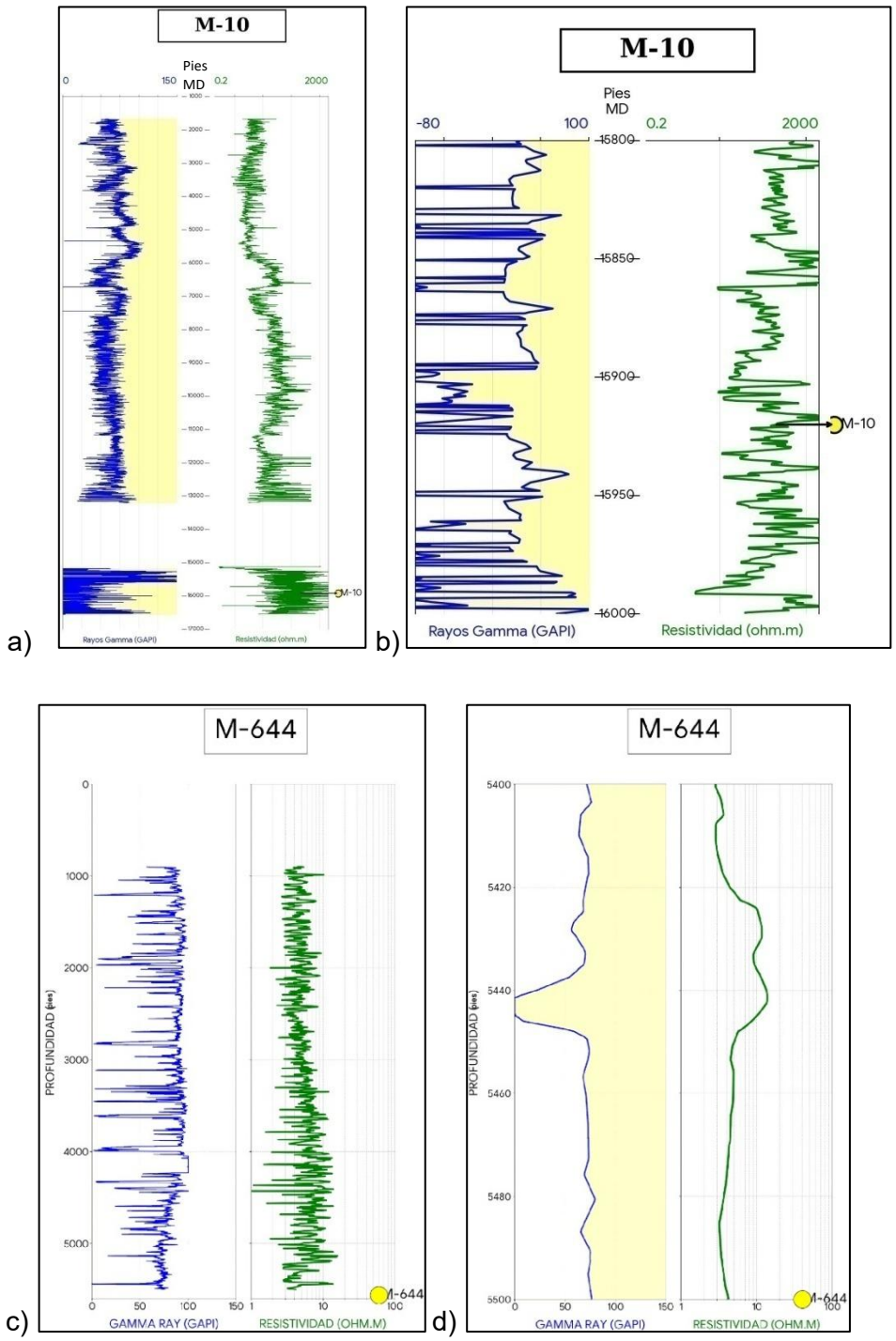


Figura 114. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies cloruradas sódica subfacies dulces con alta cantidad de sólidos disueltos totales en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-10 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-10 (salobre).c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-644 (salina). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-644 (salina).

Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como dulces con baja cantidad de sólidos disueltos totales

En esta subfacies la mezcla de agua dulce tiene un alto porcentaje por lo cual la clasificación de Sulin (1946) es de aguas meteóricas (Figura 63). Para estas muestras, el patrón de Stiff (1951) en la Figura 66g es un embudo muy diluido. Conforme con el análisis de iones mayoritarios y minoritarios estas muestras son dulces, aún en el área de aguas continentales para el gráfico de cloruros y bicarbonatos (Figura 115). Se clasifican en el lado inferior izquierdo del rombo de las aguas clorurada sódico-potásica o sulfato sódica según Piper (1944) en la Figura 118 (polígono azul).

La subfacies está compuesta por tres (03) de las muestras analizadas, tomadas desde 0 a 6.000 pies (~0 a 2.000 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDIV, UDVII y UDVIII. Asimismo, la concentración de SDT en todos los casos es menor a 1.000 mg/L clasificadas como dulces. Esta subfacies se podría relacionar con un proceso de mezcla con acuíferos libres. Se encuentran en la Cuenca de Falcón y en las cercanías de la Sierra de Perijá. (Figura 118).

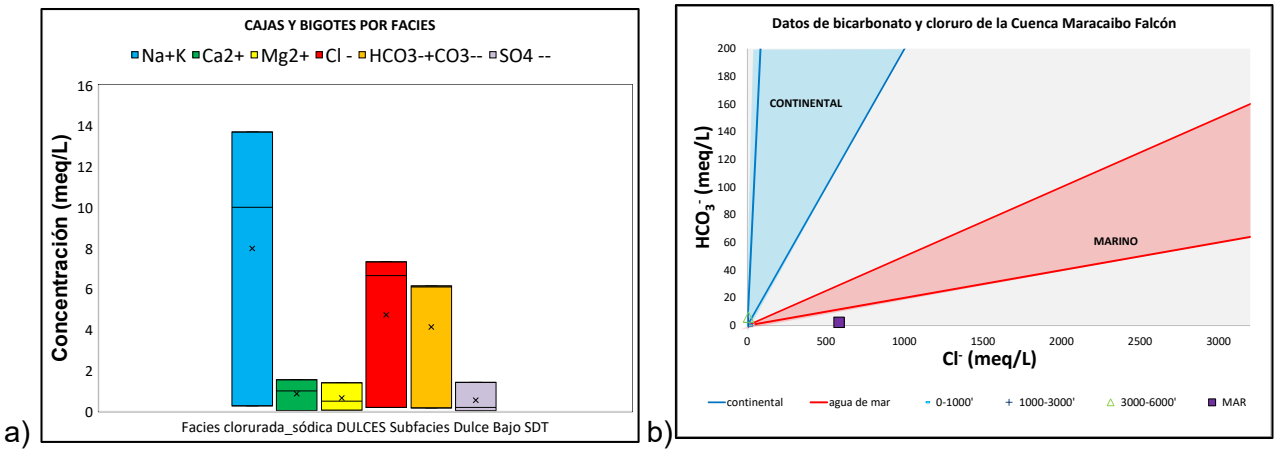


Figura 115. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies dulces con baja SDT en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en el punto de muestreo M-731 (identificado en la Figura 116 con círculo amarillo). En estos registros se observan altos valores de resistividad, que pudieran estar relacionados con la presencia de la facies, considerando que en los resultados del pozo no existen hidrocarburos.

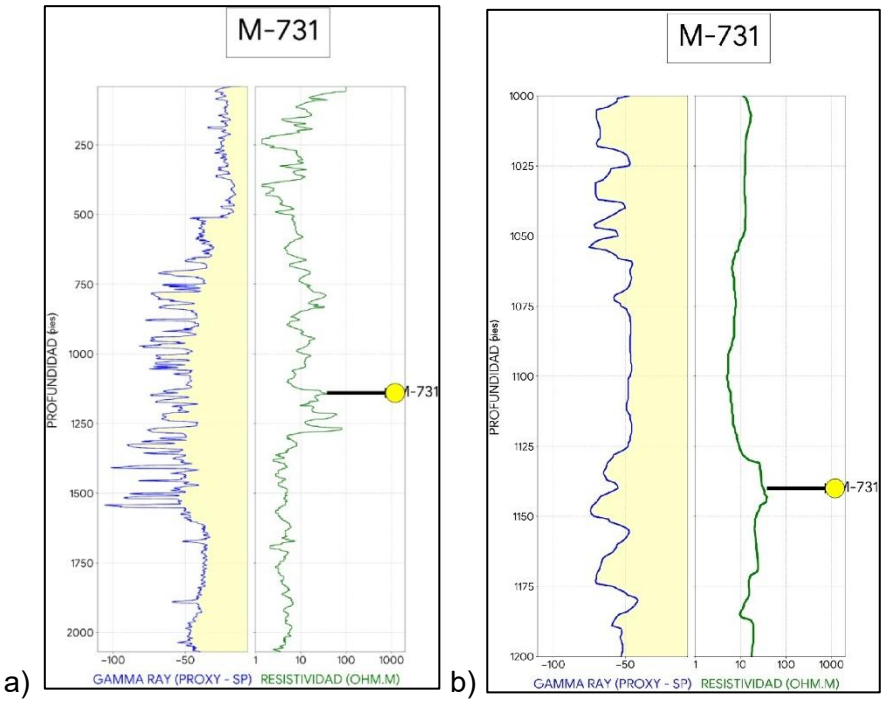


Figura 116. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica subfacies dulces con baja cantidad de sólidos disueltos totales en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-731 (dulce). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-731 (dulce).

Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como mezcla con agua de mar

En esta subfacies ya pareciera existir un proceso de mezcla con el agua de mar por lo que la clasificación de Sulin (1946) varía con 16 muestras connatas y once muestras meteóricas (Figura 63). Para estas muestras, el patrón de Stiff (1951) en la Figura 66g es un embudo diluido, clasificándose en el centro del rombo de las aguas clorurada sódico-potásica o sulfato sódica o en un caso cloruradas y sulfato cálcicas y magnésicas según Piper (1944) (Figura 118, polígono morado).

De acuerdo con el análisis de iones mayoritarios y minoritarios estas muestras son predominantemente connatas muy diluidas a dulces y cloruradas sódicas, en algunos casos con temperaturas superiores a las esperadas para el intervalo (Figura 117). En el detalle que se realizó para la relación K^+/Na^+ se observa una tendencia hacia agua dulce.

La subfacies está compuesta por veintiocho (28) de las muestras de agua analizadas, tomadas en el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDVII y UDVIII, cercanos al Lago de Maracaibo, específicamente en el Río El Palmar (Vegas Rodríguez, 2016). Asimismo, la concentración de SDT en todos los casos es menor a 1.000 mg/L clasificadas como dulces. Estas muestras podrían ser el resultado de un

proceso de mezcla entre el agua del Lago de Maracaibo de características marinas con los afluentes al lago como el Río El Palmar (Figura 118). Las muestras que componen esta subfacies fueron tomadas en superficie, por lo cual no disponen de registros eléctricos para comparar la respuesta asociada.

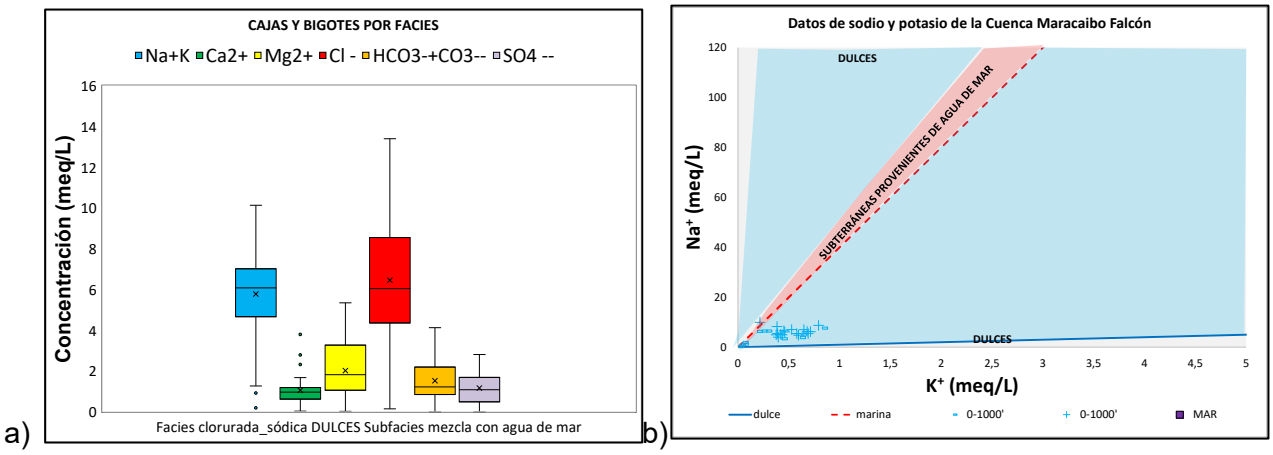
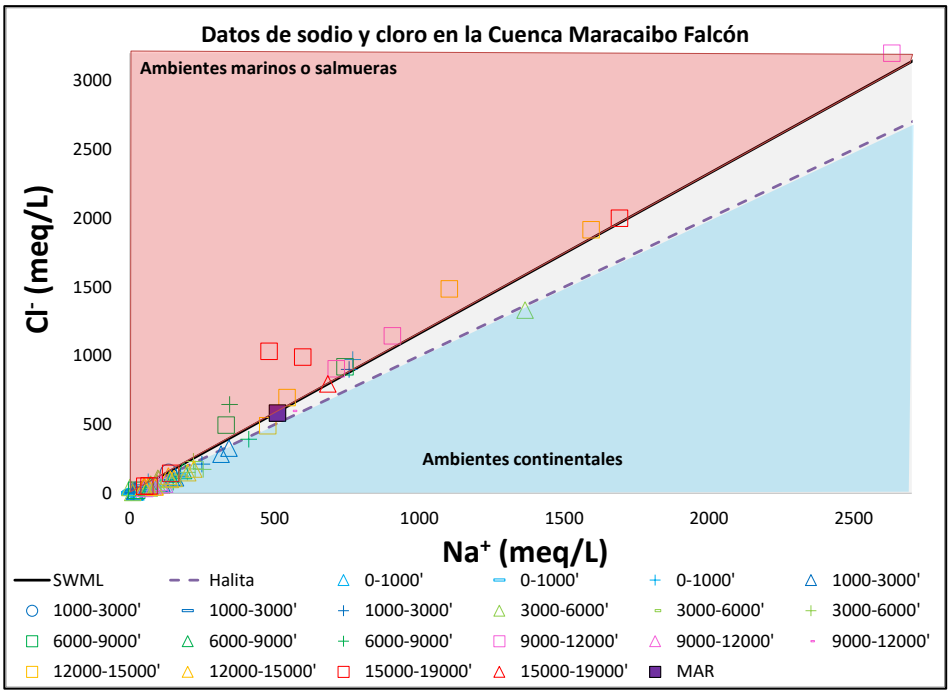


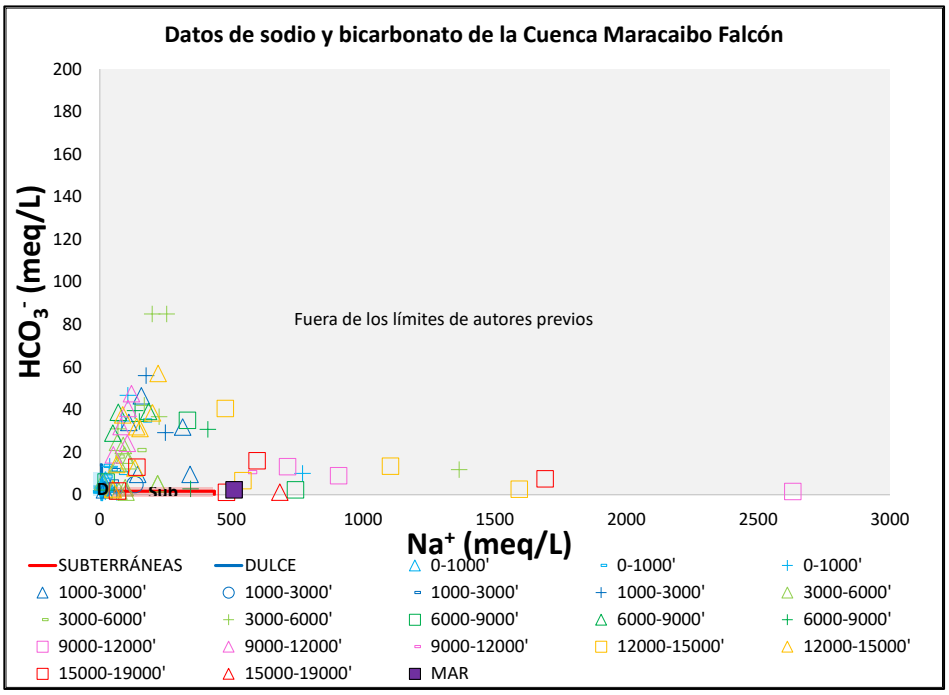
Figura 117. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies mezcla con agua de mar en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de potasio con relación a sodio. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

En resumen, como algunas de las características a destacar dentro de la facies clorurada sódica, mientras mayor es el porcentaje de mezcla en el Diagrama de Piper (1944) la posición en el rombo de aguas cloruradas sódicas se traslada hacia el rombo de aguas bicarbonatadas. Además, estas facies muestran una correlación positiva en el diagrama de sodio en relación con bicarbonato (Figura 118). No existe una distribución clara de las subfacies dentro de la cuenca; sin embargo, las muestras con bajo SDT tienen una tendencia al noreste, en la Cuenca de Falcón y las muestras connatas hacia el sur y centro-oeste de la Cuenca de Maracaibo.

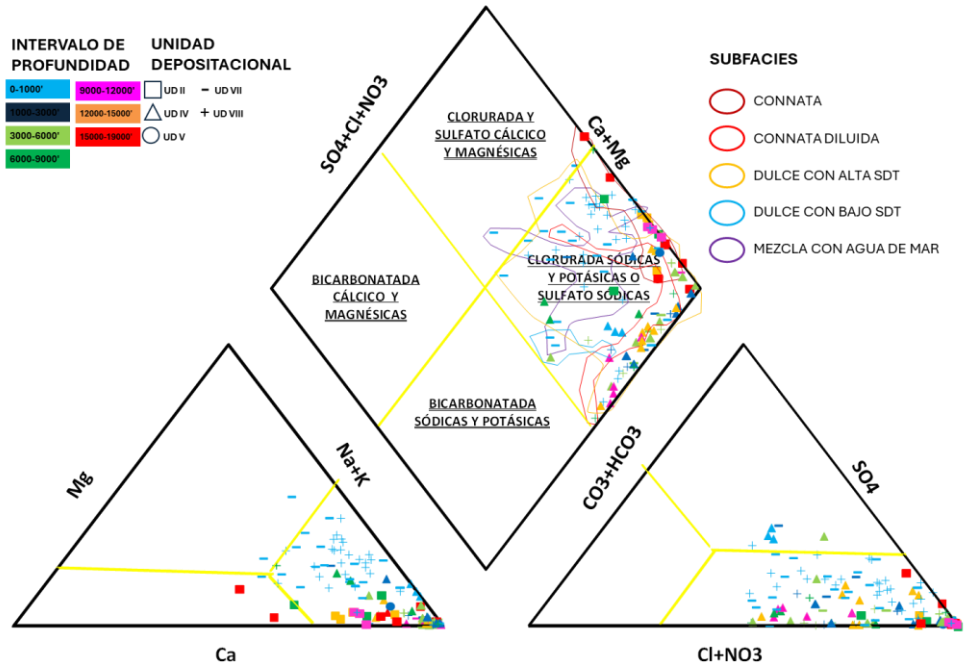
a


Datos de sodio y cloro en la Cuenca Maracaibo Falcón
Ambientes marinos o salmueras
Ambientes continentales
Cl⁻ (meq/L)
Na⁺ (meq/L)
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
SWML
Halita
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
MAR

b


Datos de sodio y bicarbonato de la Cuenca Maracaibo Falcón
Fuera de los límites de autores previos
HCO₃⁻ (meq/L)
Na⁺ (meq/L)
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
500
1000
1500
2000
2500
3000
SUBTERRÁNEAS
DULCE
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
MAR

c



d

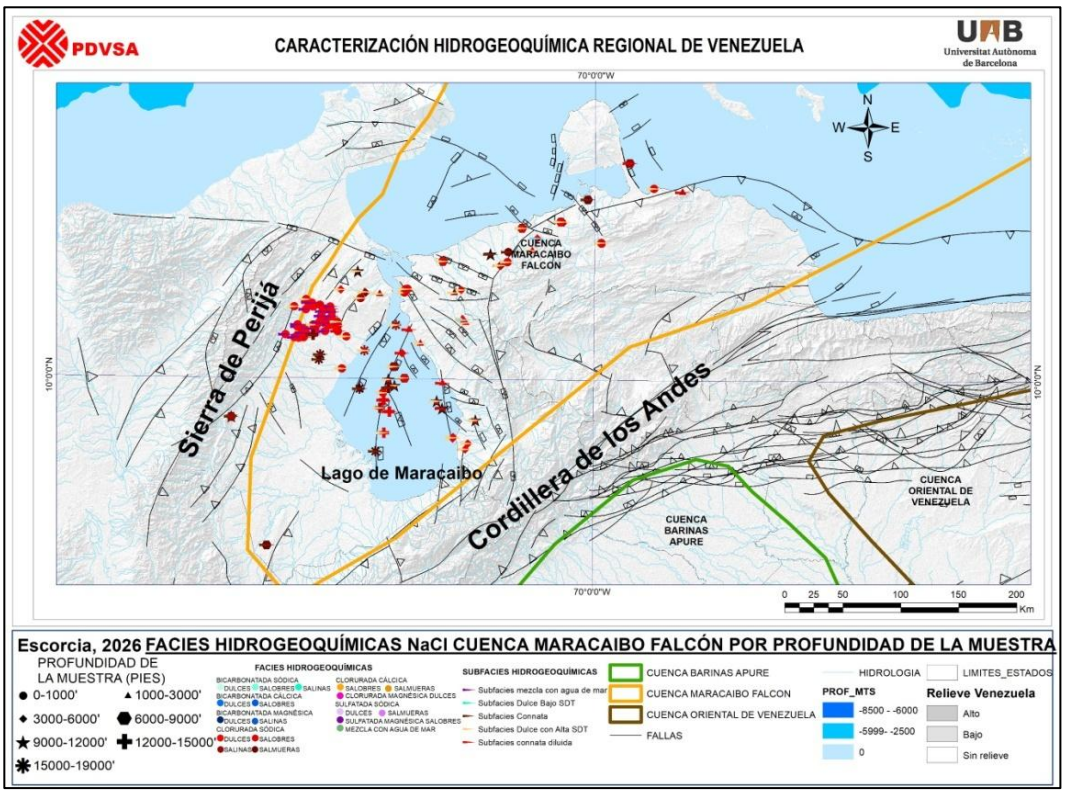


Figura 118. Caracterización de facies cloruradas sódicas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro, b) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato, c) Diagrama de Piper (1944) de las muestras de agua de la facies clorurada sódicas con polígonos de colores diferentes para cada subfacies. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. d) Mapa con la ubicación de las muestras con un símbolo diferente por intervalo de profundidad en la cual fue tomada.

VI. 2. 2 Facies de aguas bicarbonatada sódica

Las muestras con facies de aguas bicarbonatadas sódicas son aquellas donde estos iones tienen la composición mayoritaria, clasificadas así en Schoeller (1977) en la Figura 64 y el patrón de Stiff (1951) característica de visto bueno (Figura 66c). Sin embargo, gracias a los procesos hidrogeoquímicos, existen pocas muestras con una clasificación característica por lo cual se discretizaron cinco (05) subfacies con esta composición.

Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como meteóricas

Son aguas meteóricas de acuerdo con la clasificación de Sulin, (1946) (Figura 63). De acuerdo con los iones mayoritarios son aguas dulces, visible en el gráfico de sodio en relación con bicarbonato y de bicarbonatos en relación con cloruros (Figura 119). En el análisis de elementos minoritarios, la muestra M-630 tiene una concentración de sílice alta, que suele estar relacionada con altos tiempos de residencia, pero que no guarda relación con el tipo de facies identificada. Las muestras se encuentran en el extremo superior e inferior central del rombo de aguas bicarbonatada sódicas y potásica en Piper (1944) de la Figura 129 (polígono naranja).

La subfacies está compuesta por quince (15) de las muestras analizadas, tomadas preferencialmente en superficie con 4 análisis de cuidar entre 3.000 y 12.000 pies (~1.000 a 4.000 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDIV, UDV, UDVII y UDVIII, todas aguas dulces de acuerdo con la cantidad de SDT.

Esta subfacies se relaciona con aguas superficiales con baja interacción de solutos, con una composición muy parecida al agua de lluvia, interpretadas como aguas meteóricas. A pesar de no contar con datos isotópicos, se espera que sean muestras cercanas a la Línea Meteórica Global o Local. Se encuentran mayoritariamente en la Cuenca de Maracaibo; en particular algunas de las muestras a profundidades mayores a los 6000 pies como M-112 se encuentran muy cercanos a elementos estructurales que pudieran fungir como vías de migración hacia sedimentos inferiores (Figura 129).

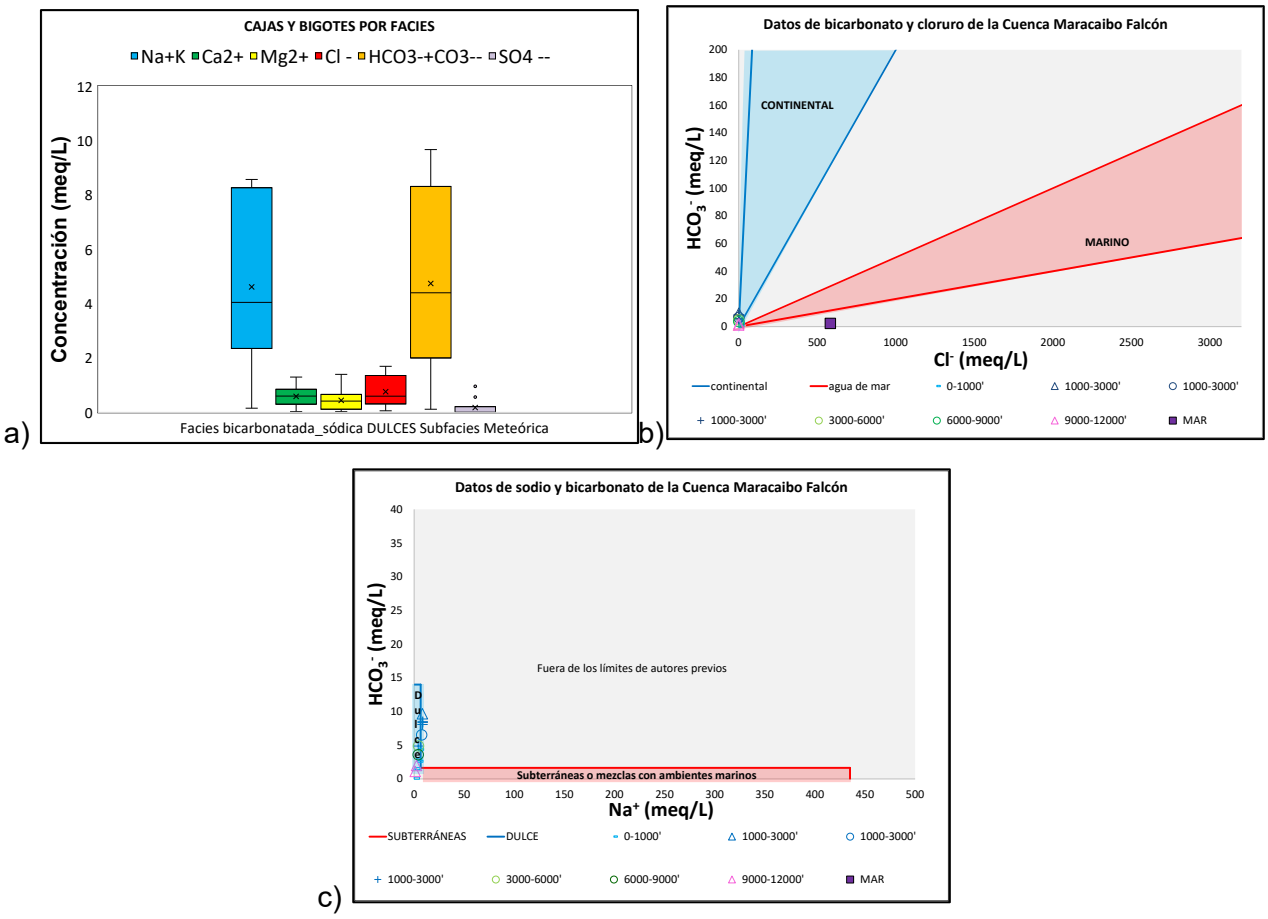
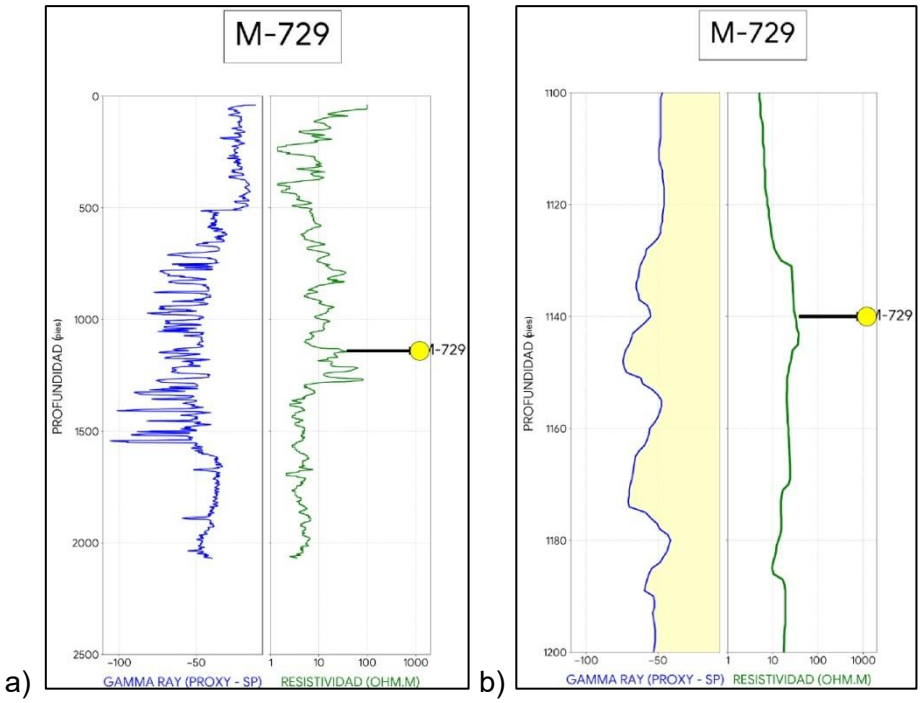


Figura 119. Caracterización de facies bicarbonatadas sódica subfacies meteórica en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en el punto de muestreo M-729 (identificado en la Figura 120 con círculo amarillo). En estos registros se observan altos valores de resistividad, que pudieran estar relacionados con la presencia de la facies, considerando que en los resultados del pozo no existen hidrocarburos.



a) b)

Figura 120.Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada sódica subfacies meteórica en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-729 (dulce). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-729 (dulce).

Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como meteóricas con intercambio iónico

Son aguas meteóricas de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946) (Figura 63). De acuerdo con los iones mayoritarios son aguas dulces y se mantienen en este recuadro para el gráfico de sodio en relación con bicarbonato, pero en la distribución del diagrama de cajas y bigotes las concentraciones de los iones calcio y cloruro aumenta con relación a la subfacies meteórica (Figura 121).

Las muestras se encuentran en dos rombos del diagrama de Piper (1944) de la Figura 129 (polígono ciruela): bicarbonatadas cálcicas y magnésicas y clorurada sódica y potásica o sulfato sódica, aledañas a la ubicación de las aguas meteóricas en la zona central. No obstante, la figura de Stiff (1951) característica de visto bueno se encuentra un poco desplazada por el contenido de calcio.

La subfacies está compuesta por ocho (08) de las muestras analizadas, tomadas preferencialmente en superficie con un análisis de 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros) y otro entre 12.000 y 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDVII y UDVIII, todas aguas dulces de acuerdo con la cantidad de SDT.

Esta subfacies se relaciona con aguas aún con baja interacción de solutos, donde la concentración de aguas meteóricas a partir del intercambio iónico comienza a cambiar de composición. Se encuentran mayoritariamente en el área central de la Cuenca de Maracaibo Figura 129; en particular algunas de las muestras se ubican en el Río El Palmar donde existe un proceso de mezcla evidente en las distintas facies identificadas en el área.

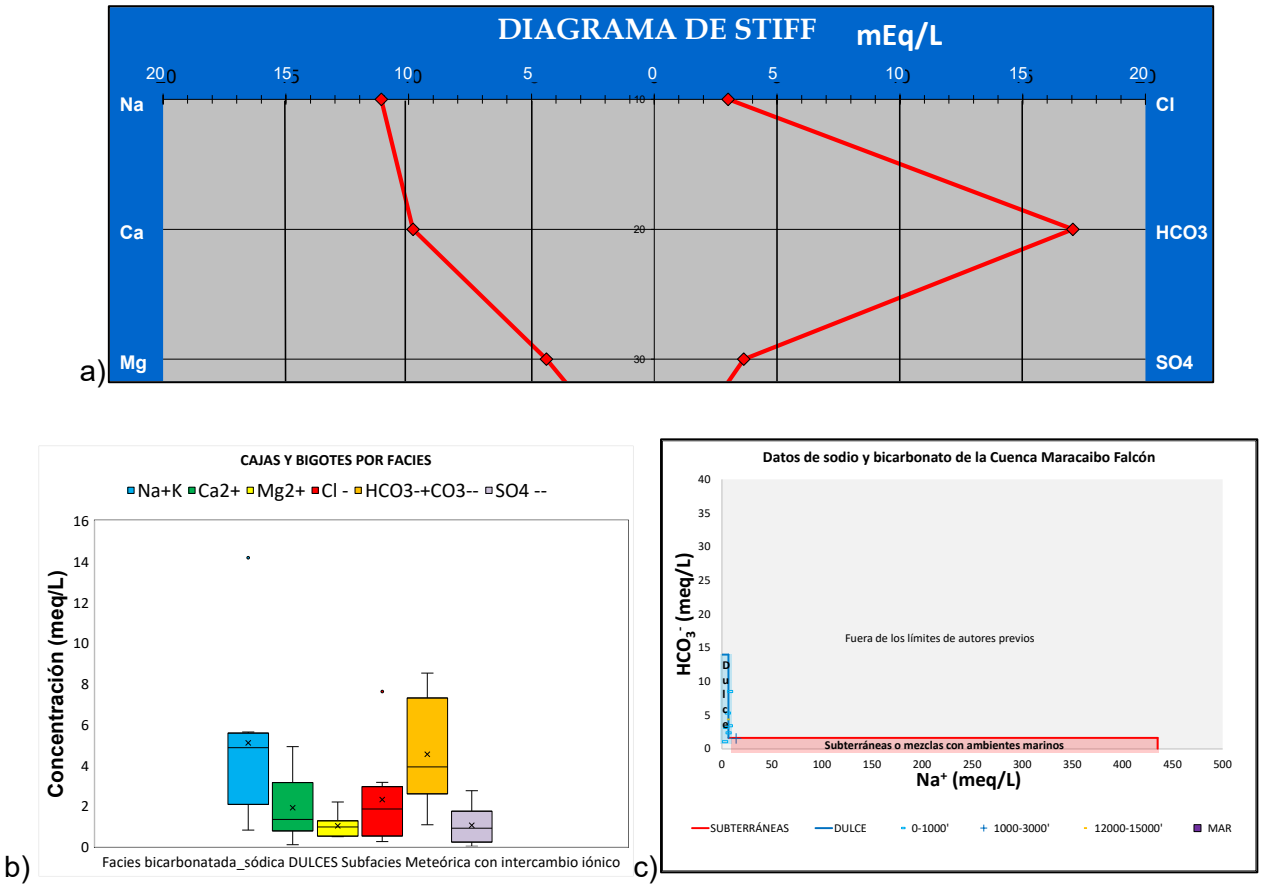


Figura 121. Caracterización de facies bicarbonatadas sódica subfacies meteórica con intercambio iónico en la Cuenca Maracaibo Falcón: a) Patrón identificado de acuerdo con la clasificación de Stiff (1951) aguas bicarbonatadas sódicas (patrón de visto bueno) enriquecido en calcio b) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en el punto de muestreo M-79 (identificado en la Figura 122 con círculo amarillo). La muestra de agua se encuentra dentro de un intervalo donde incrementa la resistividad; sin embargo, el ajuste se mantiene luego del intervalo por lo cual no se puede inferir una relación entre ellos.

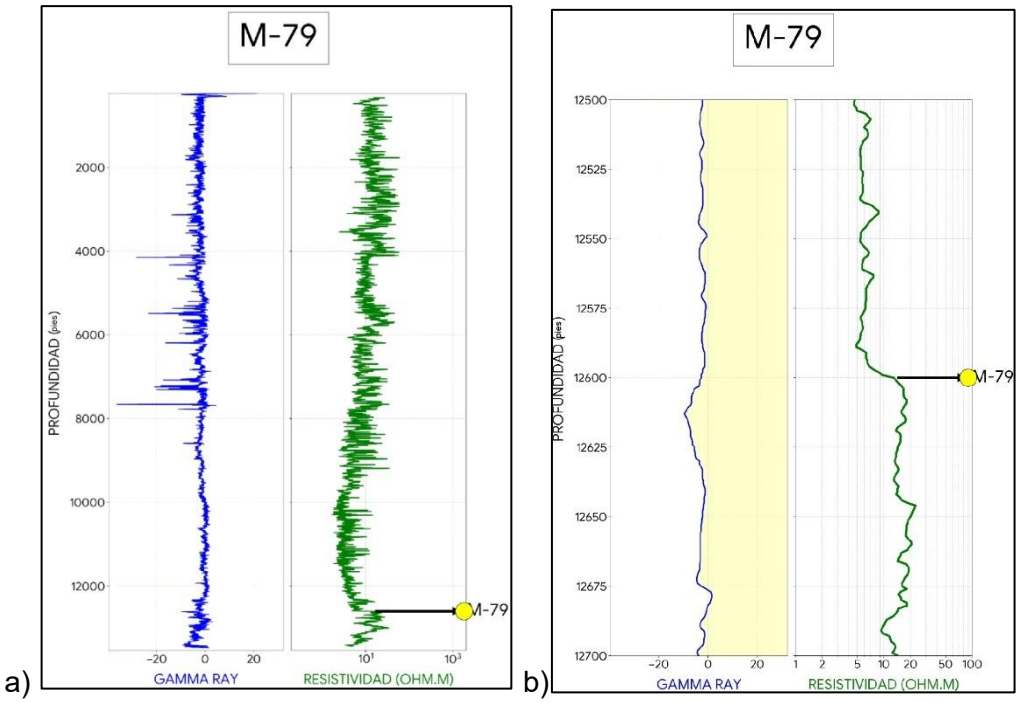


Figura 122.Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada sódica subfacies meteórica con intercambio iónico en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-79 (dulce). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-79 (dulce).

Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como dulces con cantidad de sólidos disueltos de media a alta

Son aguas meteóricas de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946) (Figura 63). De acuerdo con los iones mayoritarios existe una interacción doble del catión sodio con los aniones cloruro y bicarbonato; sin embargo, se mantienen dentro del recuadro de aguas continentales para el diagrama de cloruro en relación con bicarbonato. Adicionalmente aumenta la concentración de los iones en relación con las demás subfacies; observando en el gráfico de sodio con relación a bicarbonato que se encuentran fuera de los límites de autores previos, pero en una correlación positiva evidente (Figura 123).

Las muestras se encuentran en el extremo inferior derecho del rombo de aguas bicarbonatada sódicas y potásica en Piper (1944) de la Figura 129 (polígono morado). En particular, para esta subfacies la temperatura de algunas de las muestras de agua, tomadas en el intervalo desde 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) es mayor a la esperada de acuerdo con el contexto regional, y a su vez la concentración de sílice en otras muestras del mismo intervalo va de media a muy alta.

La subfacies está compuesta por cincuenta y cinco (55) de las muestras analizadas, tomadas en profundidades hasta 15.000 pies (~5000 m), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes

a la UDII, UDIV, UDV, UDVII y UDVIII. En base a la cantidad de SDT, cincuenta y dos de las muestras son salobres y tres de ellas salinas.

Esta subfacies podría relacionarse con los procesos de mezcla entre aguas de formación y agua dulce, o como resultado de una mayor interacción roca agua prolongada en el tiempo que incrementa la cantidad de sólidos disueltos. Es la subfacies con mayor ocurrencia, ubicada preferencialmente al este del Lago de Maracaibo (Figura 129).

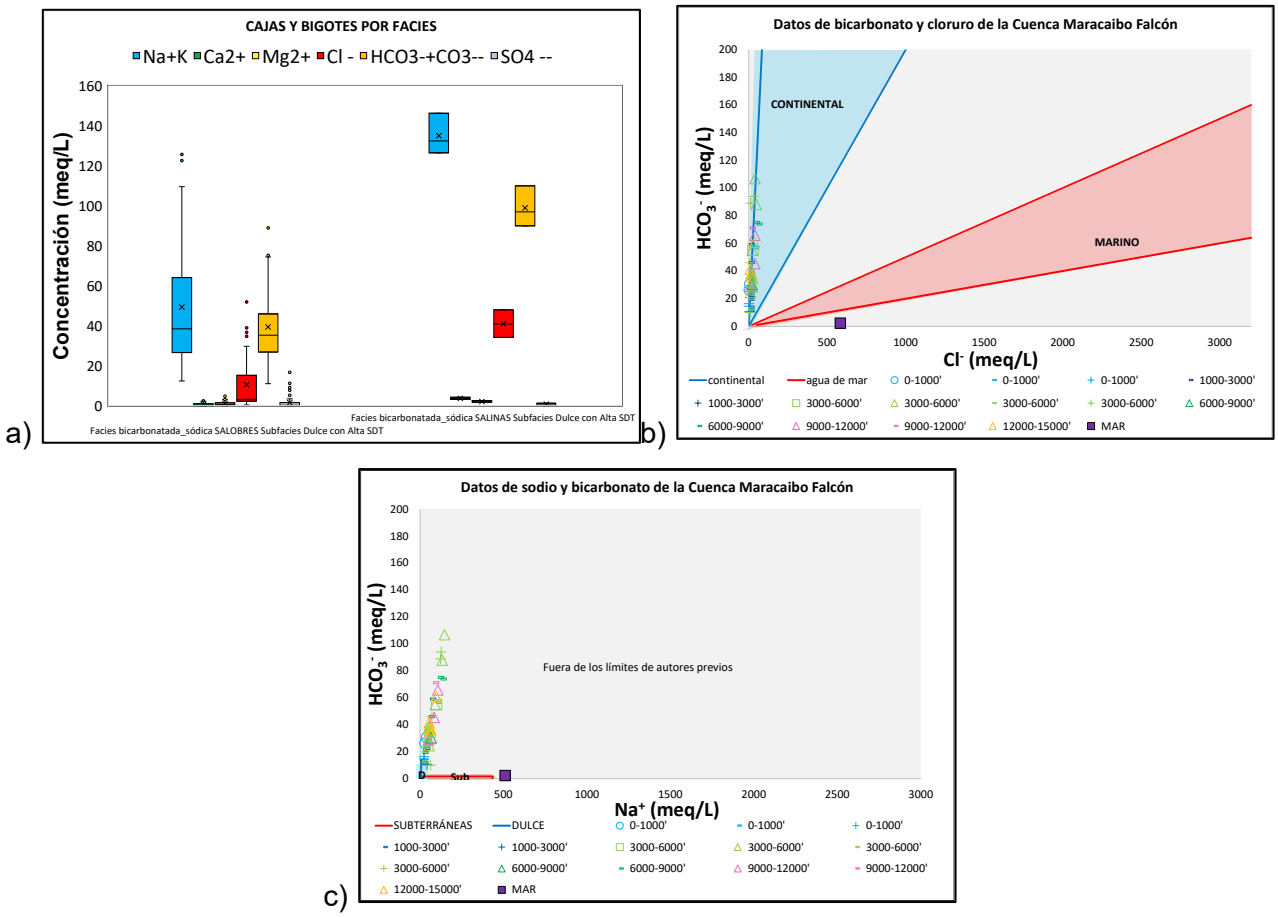


Figura 123. Caracterización de facies bicarbonatadas sódica subfacies dulces con SDT de media a alta en la Cuenca Maracaibo Falcón: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en los puntos de muestreo M-163 y M-932 (identificados en la Figura 124 con círculos amarillos). En estos registros se observan bajos valores de resistividad, que corresponden a lo descrito en la litología y/o *gamma ray* como posibles cuerpos de arena y que no se ven alterados por la presencia

de la muestra de agua. En esta subfacies indiferente de la cantidad de sólidos disueltos la respuesta se mantiene en una posible línea base del registro. Adicionalmente, en el registro de mineralogía disponible para la muestra M-163 se observa la presencia hacia intervalos inferiores de calcita y en prácticamente todo el intervalo de dolomita.

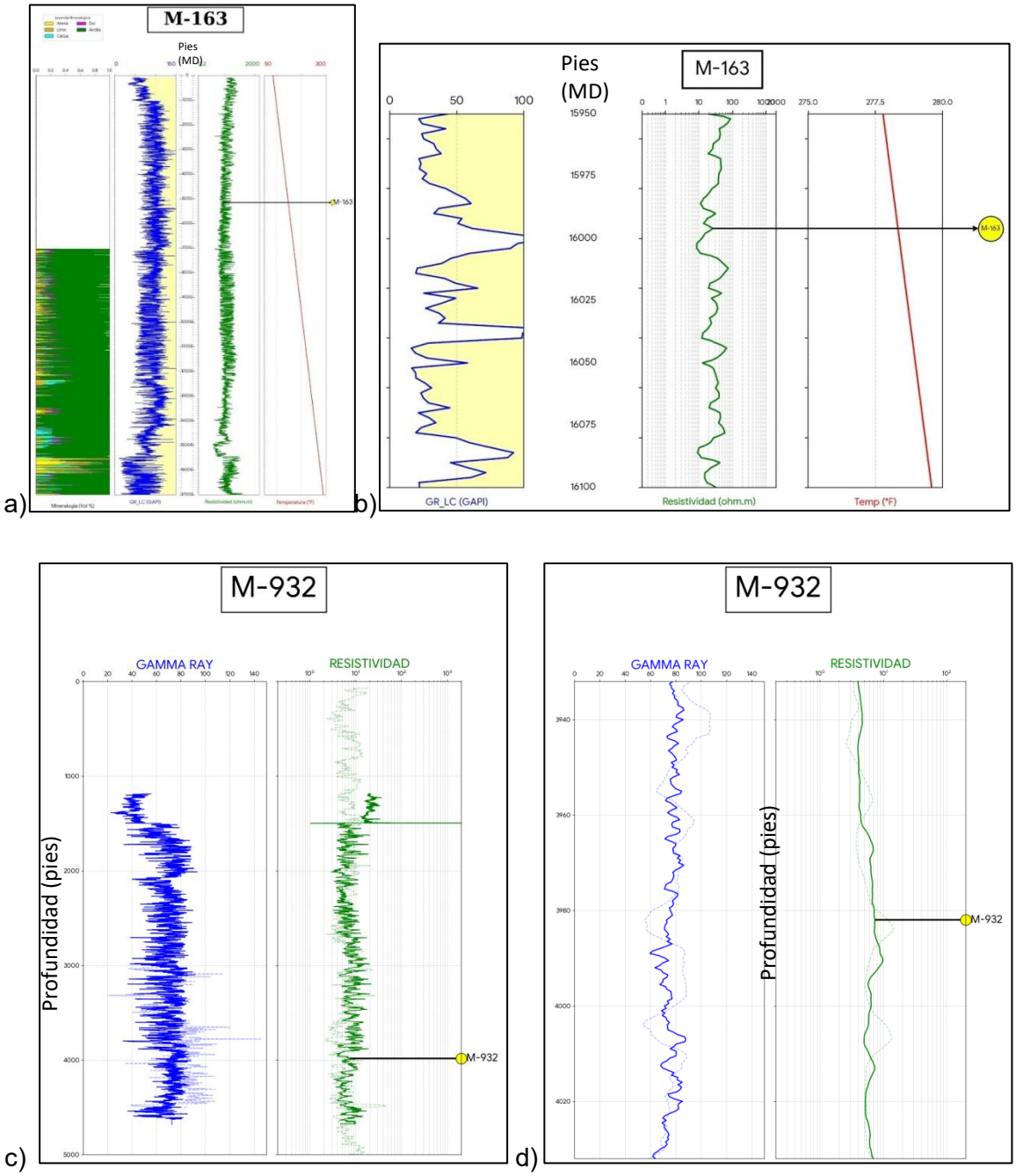


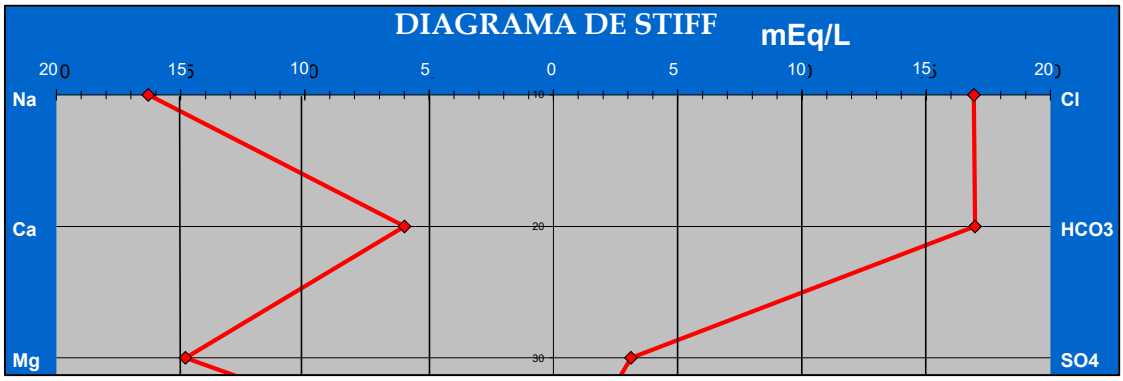
Figura 124. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada sódica subfacies dulce con cantidad de sólido disueltos media a alta en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-163 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-163 (salobre).c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-932 (salina). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-932 (salina).

Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como mezcla

Son aguas meteóricas de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946) (Figura 63). De acuerdo con los iones mayoritarios son agua dulce muy parecida a la subfacies de agua dulces con alto SDT, sólo que las concentraciones entre los iones cloruro y bicarbonato son más semejantes entre ellas (Figura 125). Las muestras se encuentran en el extremo derecho entre los rombos de aguas clorurada sódica y potásica o sulfato sódica con bicarbonatadas sódicas y potásicas y una muestra en el extremo inferior del rombo de aguas cloruradas y sulfato cálcicas y magnésicas (Piper, 1944) de la Figura 129 (polígono marrón). Adicionalmente, la figura de Stiff (1951) característica de visto bueno se encuentra un poco desplazada por el contenido de cloruros. Existe en este grupo varias muestras con una temperatura superior a la esperada en el intervalo.

La subfacies está compuesta por ocho (08) de las muestras analizadas, tomadas hasta una profundidad de 15.000 pies (~5.000 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDII, UDIV y UDVIII, todas aguas salobres de acuerdo con la cantidad de SDT.

El proceso hidrogeoquímico que puede estar controlando la composición de estas muestras de agua es la mezcla de aguas con composiciones diferente, tales como aguas dulces con aguas de formación, considerando que incrementa el contenido de cloruros. Se encuentran mayoritariamente en la Cuenca de Falcón y al sureste del Lago de Maracaibo (Figura 129).

a) 

b)

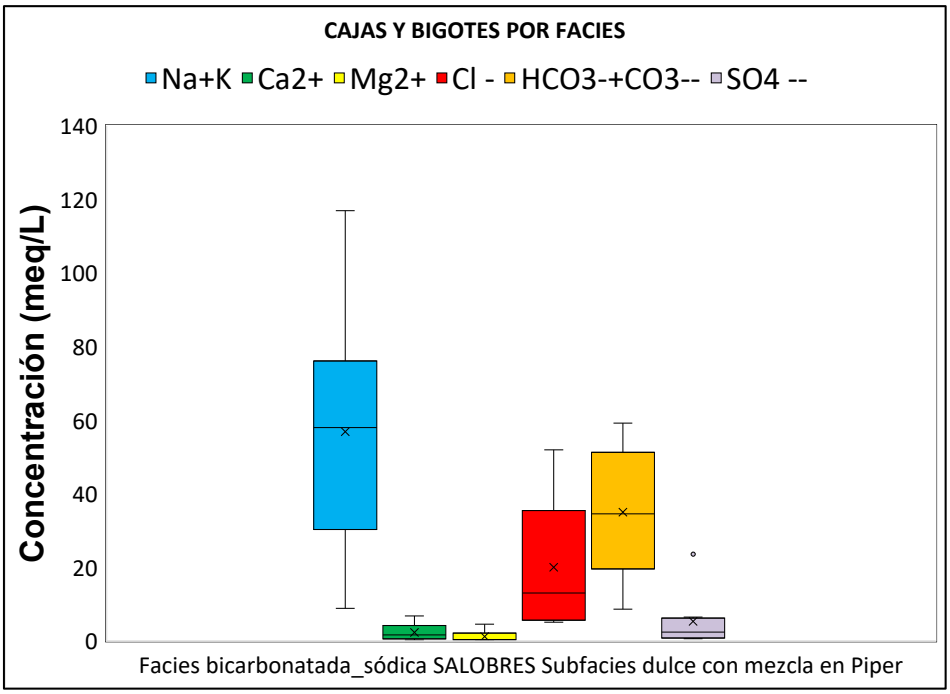


Figura 125. Caracterización de facies bicarbonatadas sódica subfacies mezcla en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Patrón identificado de acuerdo con la clasificación de (Stiff, 1951) aguas bicarbonatadas sódicas (patrón de visto bueno) enriquecido en cloruro b) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja).

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en el punto de muestreo M-651 (identificado en la Figura 126 con círculo amarillo). En estos registros se observan valores de resistividad en el rango de la posible línea base para el intervalo donde fue tomada la muestra.

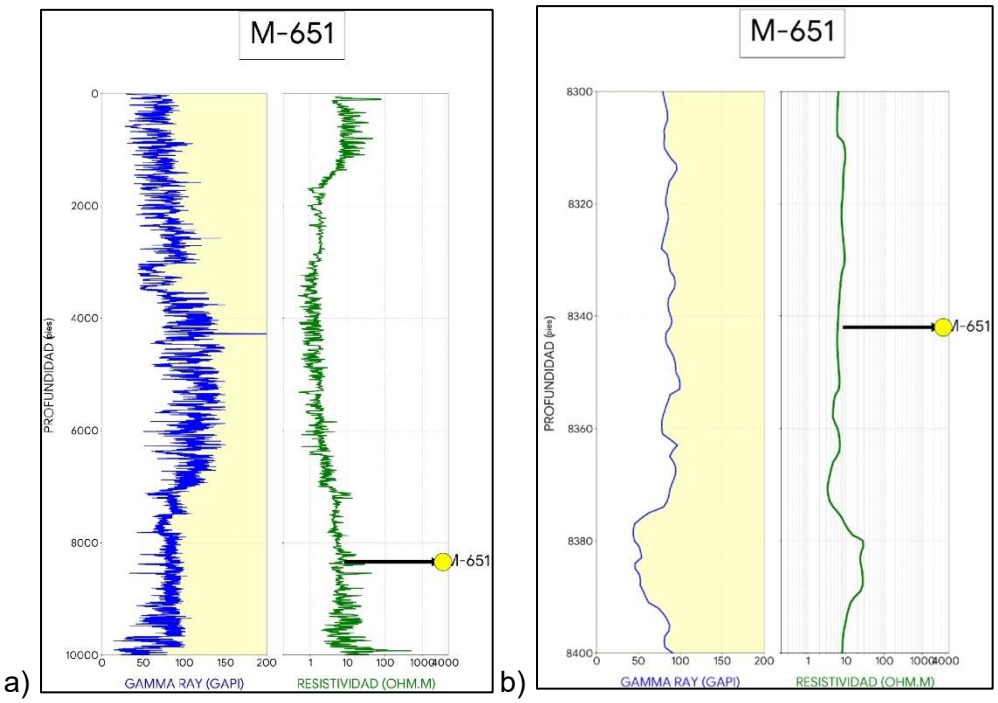


Figura 126.Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada sódica subfacies mezcla en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-651 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-651 (salobre).

Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como connatas muy diluidas

Son aguas meteóricas de acuerdo con la clasificación de Sulin, (1946), con excepción de M-425 (Figura 63). De acuerdo con los iones mayoritarios esta subfacies se ha descrito como connata diluida a muy diluida (Figura 127). Dentro de los puntos resaltantes el contenido de sulfato se hace comparable con los otros aniones y el contenido de sodio se mantiene como prioritario. Los datos se mantienen en el recuadro de aguas continentales para el gráfico de cloruros en relación con bicarbonato.

Las muestras abarcan desde el extremo derecho del rombo de aguas bicarbonatada sódicas y potásica hacia el comienzo inferior derecho del rombo de aguas clorurada sódicas potásicas o sulfato sódicas y una muestra en el rombo de aguas clorurada y sulfato cálcico y magnésicas en Piper (1944) de la Figura 129 (polígono verde claro).

En particular, para esta subfacies la temperatura de algunas de las muestras de agua, tomadas en el intervalo desde 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros) es mayor a la esperada de acuerdo con el contexto regional, y a su vez la concentración de sílice va de media a alta.

La subfacies está compuesta por once (11) de las muestras analizadas, tomadas en profundidades hasta 9.000 pies (~5.000 metros) y una hasta 12000 pies (~4.000 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDIV, UDVII y UDVIII. En base a la cantidad de SDT, dos son muestras de agua dulces, ocho aguas salobres y una de ellas salinas.

Esta subfacies podría relacionarse también con los procesos de mezcla entre aguas de formación y aguas dulces en un mayor porcentaje que las muestras previas, o con una mayor interacción roca agua. Se encuentran mayoritariamente desde la zona central hacia el norte del área (Figura 129).

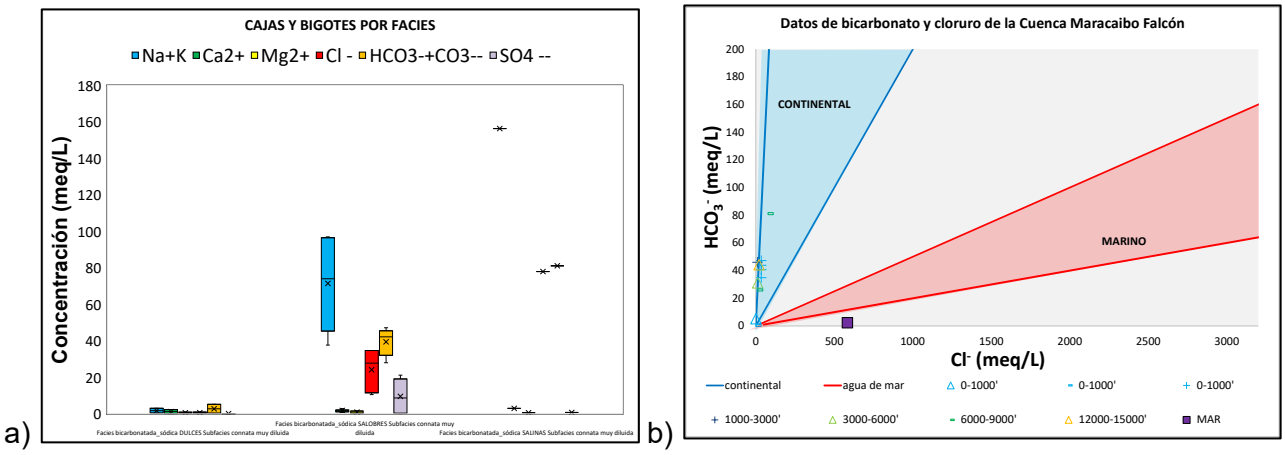


Figura 127. Caracterización de facies bicarbonatadas sódica subfacies connatas muy diluidas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en el punto de muestreo M-939 (identificado en la Figura 128 con círculo amarillo). La muestra no representa un cambio representativo dentro del registro de resistividad.

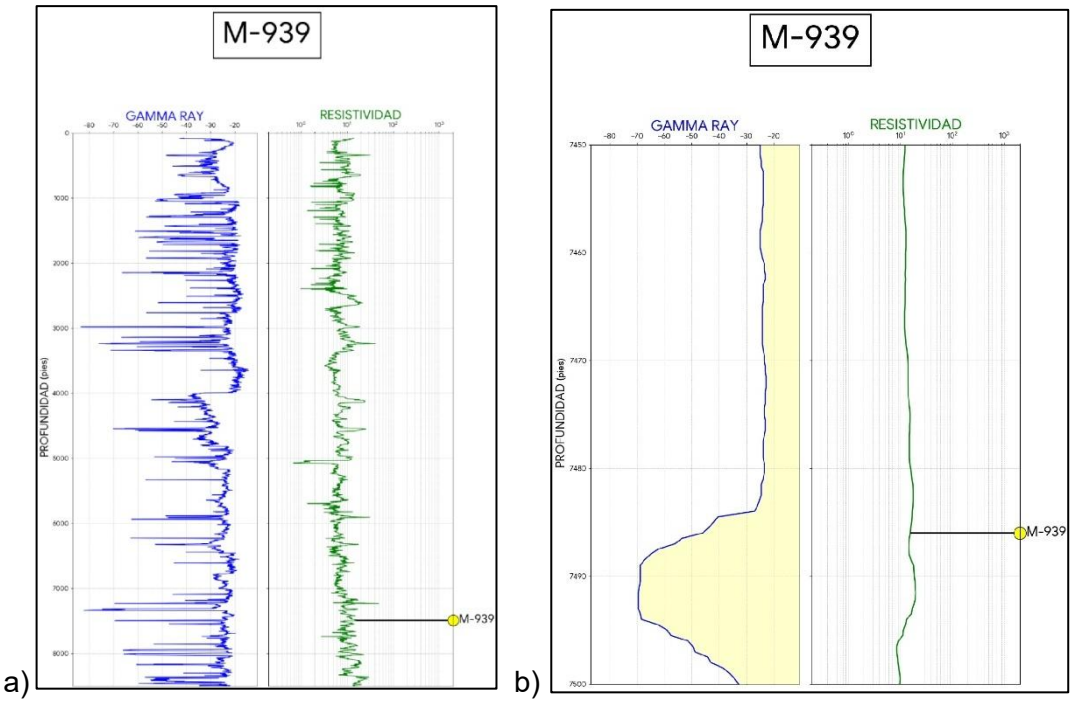
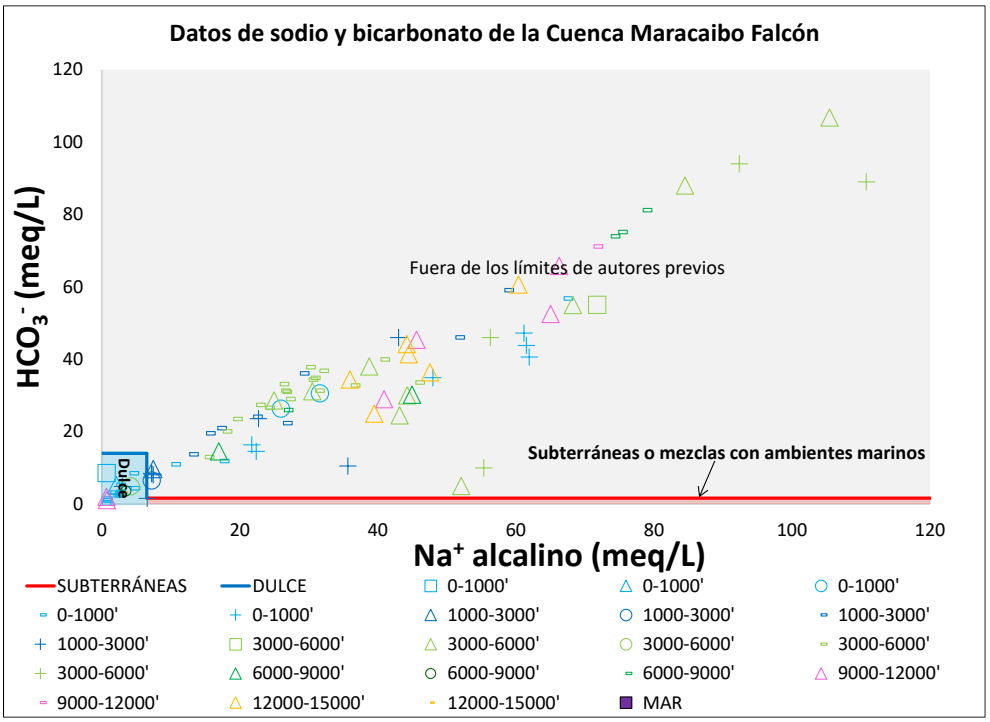
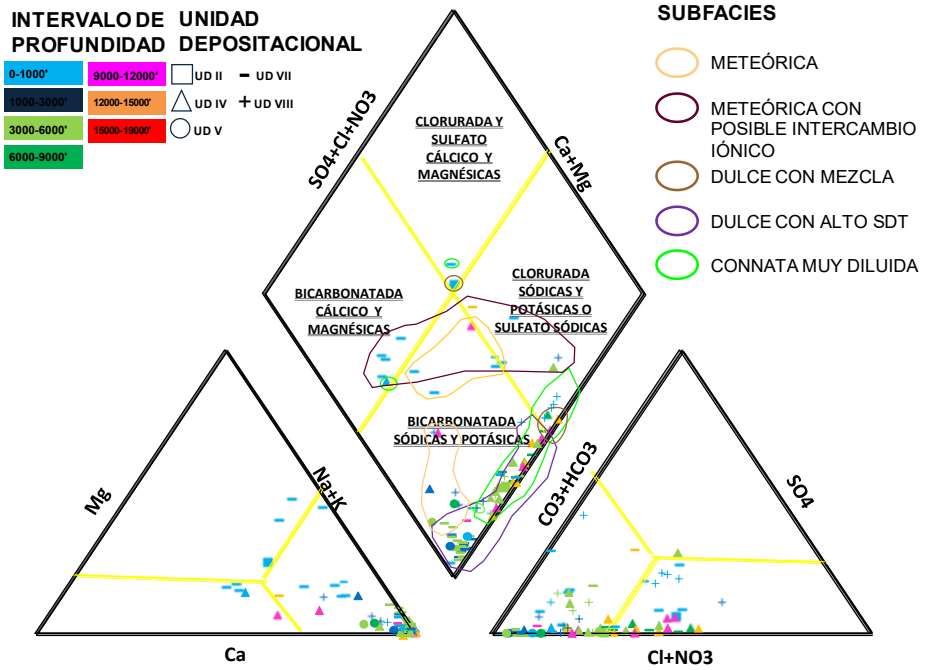


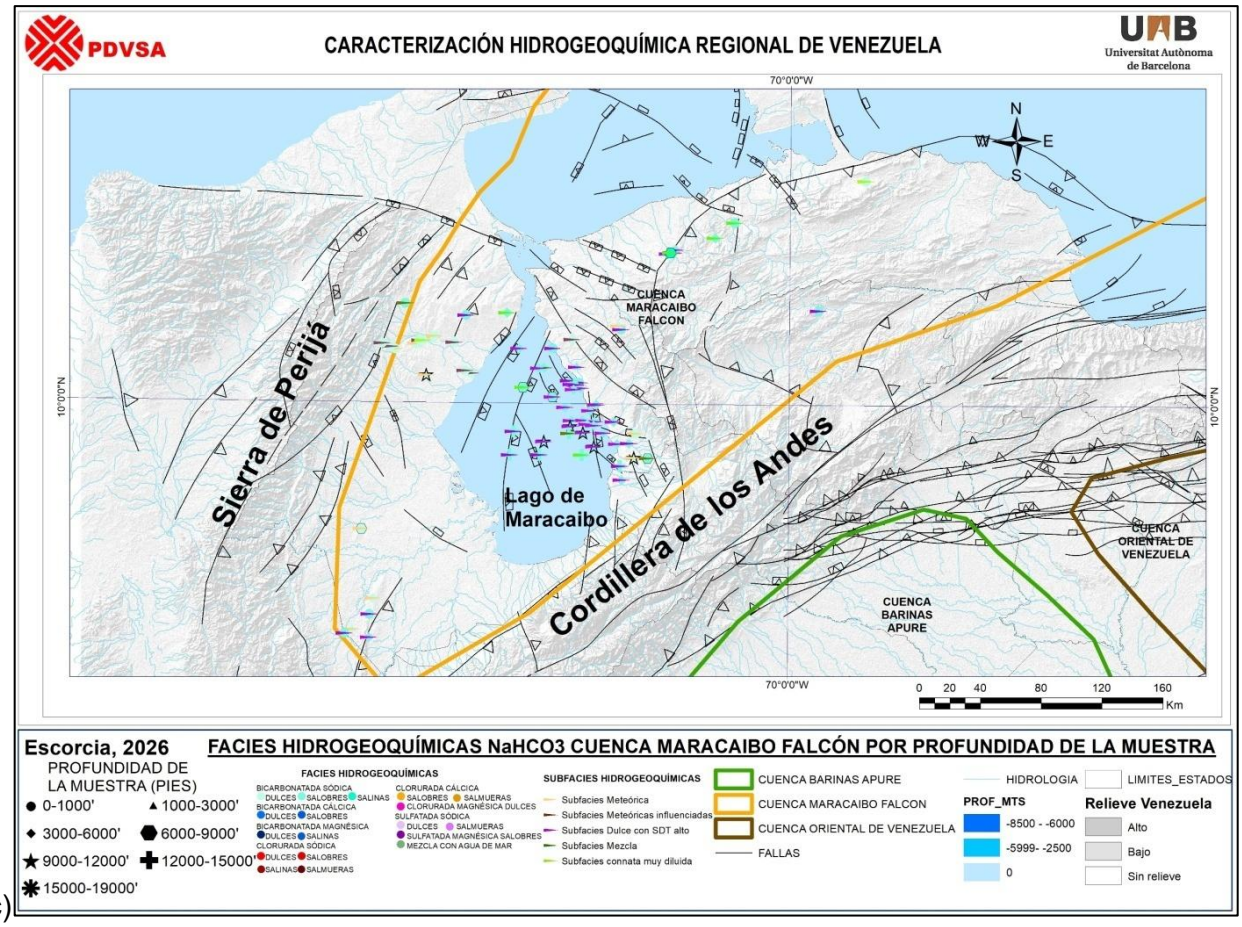
Figura 128.Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada sódica subfacies connata muy diluida en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-939 (salina). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-939 (salina).

En resumen, como algunas de las características a destacar dentro de la facies bicarbonatada sódica, existe una relación clara entre los iones sodio y bicarbonato, que resulta más evidente al utilizar la concentración de sodio alcalino, diferenciando las muestras de la subfacies connatas muy diluidas (Figura 129). Adicionalmente, en el diagrama de Piper (1944) se observan los procesos de mezcla y ubicaciones preferenciales. No existe una distribución clara de las subfacies dentro de la cuenca, pero se encuentran en todos los niveles estratigráficos.


Datos de sodio y bicarbonato de la Cuenca Maracaibo Falcón
HCO3- (meq/L)
Na+ alcalino (meq/L)
Fuera de los límites de autores previos
Subterráneas o mezclas con ambientes marinos
Dulce
SUBTERRÁNEAS
DULCE
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
MAR

a)


INTERVALO DE PROFUNDIDAD
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
UNIDAD DEPOSITACIONAL
UD II
UD IV
UD V
UD VII
UD VIII
SUBFACIES
METEÓRICA
METEÓRICA CON POSIBLE INTERCAMBIO IÓNICO
DULCE CON MEZCLA
DULCE CON ALTO SDT
CONNATA MUY DILUIDA
SO4+Cl+NO3
Ca+Mg
CLORURADA Y SULFATO CÁLCICO Y MAGNÉSICAS
BICARBONATADA CÁLCICO Y MAGNÉSICAS
CLORURADA SÓDICAS Y POTÁSICAS O SULFATO SÓDICAS
BICARBONATADA SÓDICAS Y POTÁSICAS
Mg
Na+K
Ca
CO3+HCO3
SO4
Cl+NO3



c)

Figura 129. Caracterización de facies bicarbonatadas sódicas en la Cuenca Maracaibo Falcón: a) Gráfico de concentraciones de sodio alcalino con relación a bicarbonato. b) Diagrama de Piper (1944) de las muestras de agua de la facies clorurada cálcica. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. c) Ubicación de las muestras con un símbolo diferente por intervalo de profundidad en la cual fue tomada.

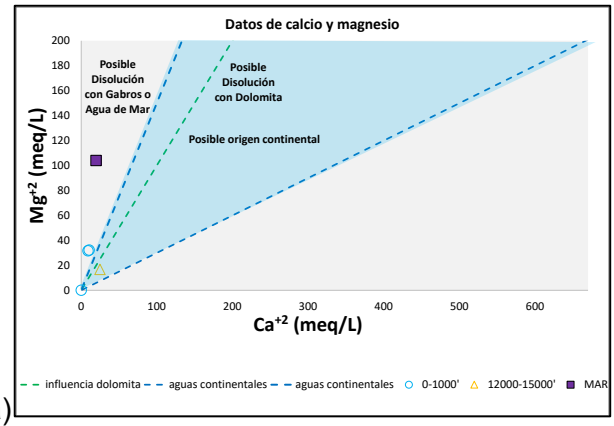
VI. 2. 3 Facies de aguas sulfatadas

Según la tipología de (Sulin, 1946), no existe una tendencia clara; coherente considerando que el ion mayoritario no es cloruro (Figura 63). La facies de aguas sulfatadas se define por la predominancia de iones sulfatos. Esta clasificación se corresponde con la propuesta de Schoeller (1977) en Figura 64 para la facies sulfatadas sódicas y magnésicas, e igual en los diagramas de Stiff (1951) en la Figura 66 h e i y se clasifica como clorurada sódica y potásica o sulfato sódica y cloruradas y sulfato cálcicas y magnésicas según Piper (1944) en la Figura 130.

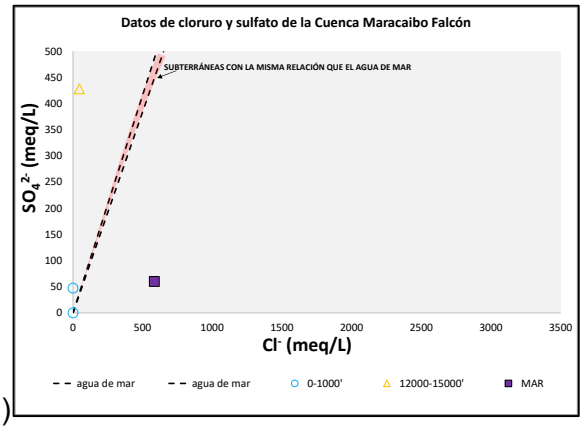
En el análisis de iones mayoritarios se observa dentro de la clasificación de dulce a connata muy diluida con aporte de sulfatos. Se realizó un detalle de los gráficos de Ca^{2+}/Mg^{2+} y $Cl^{-}/SO4^{2-}$ y el gráfico de cajas y bigotes y se observa como la concentración de sulfato se incrementa en relación

con los demás iones (Figura 130). Los procesos hidrogeoquímicos que pudieran estar involucrados sería una disolución de minerales ricos en sulfatos como yeso y/o la dilución de un agua de mar.

La facies está compuesta por cuatro (04) de las muestras analizadas, tres tomadas en superficie y otra en profundidades de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDIV y UDV. En base a la cantidad de SDT, las muestras de superficie son aguas dulces y salobres; mientras que la muestra a mayor profundidad es una salmuera. Esta facies podría relacionarse también con los procesos de interacción roca agua, considerando, además, que las muestras en superficie sulfatadas magnésicas fueron tomadas en una mina de carbón, con minerales y residuos asociados a los sulfatos (Montero y Martínez, 2014), presentan una temperatura superior a la esperada en el área y la concentración de elementos minoritarios plantea una posible disolución mineral. La muestra M-291 pareciera provenir de un origen diferente, ubicada en el Lago de Maracaibo, otra posibilidad es un origen orgánico de los hidrocarburos en el área, considerando además que es una muestra clasificada como salmuera a 12.000 pies (~4.000 metros).

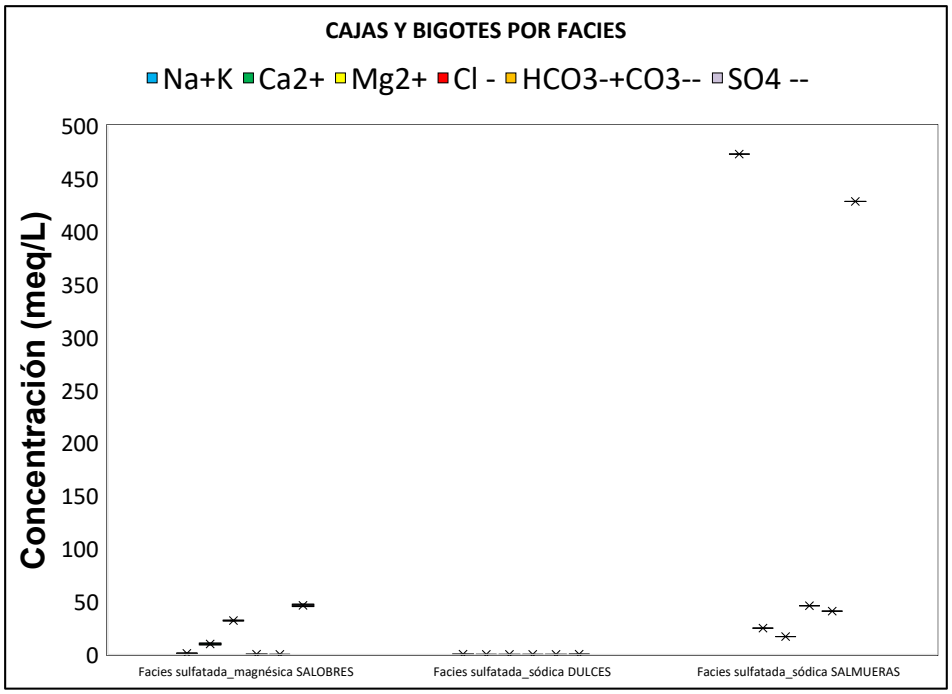


a)

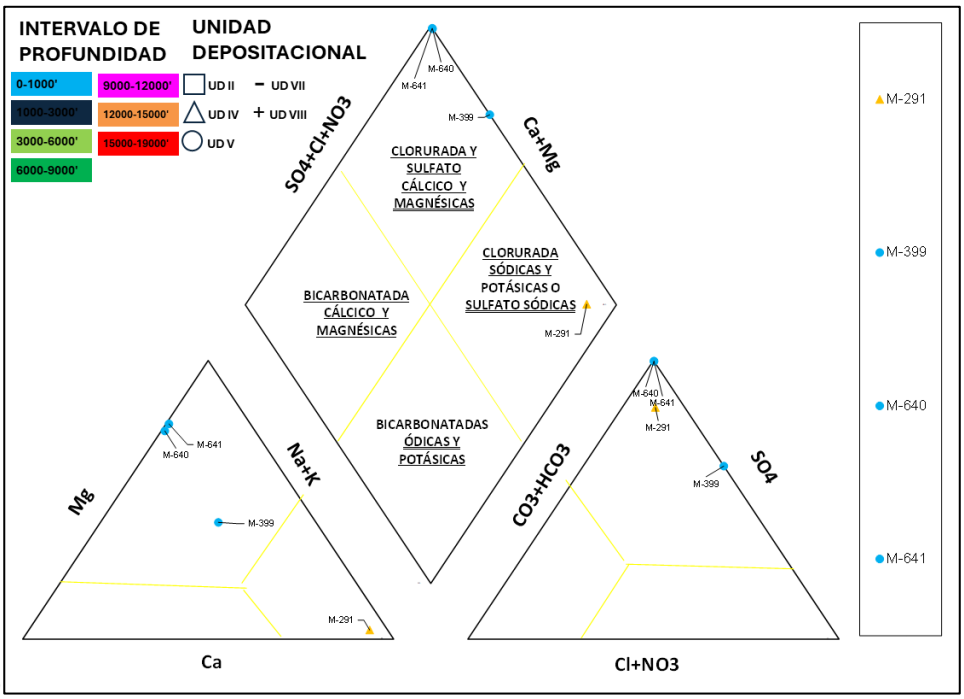


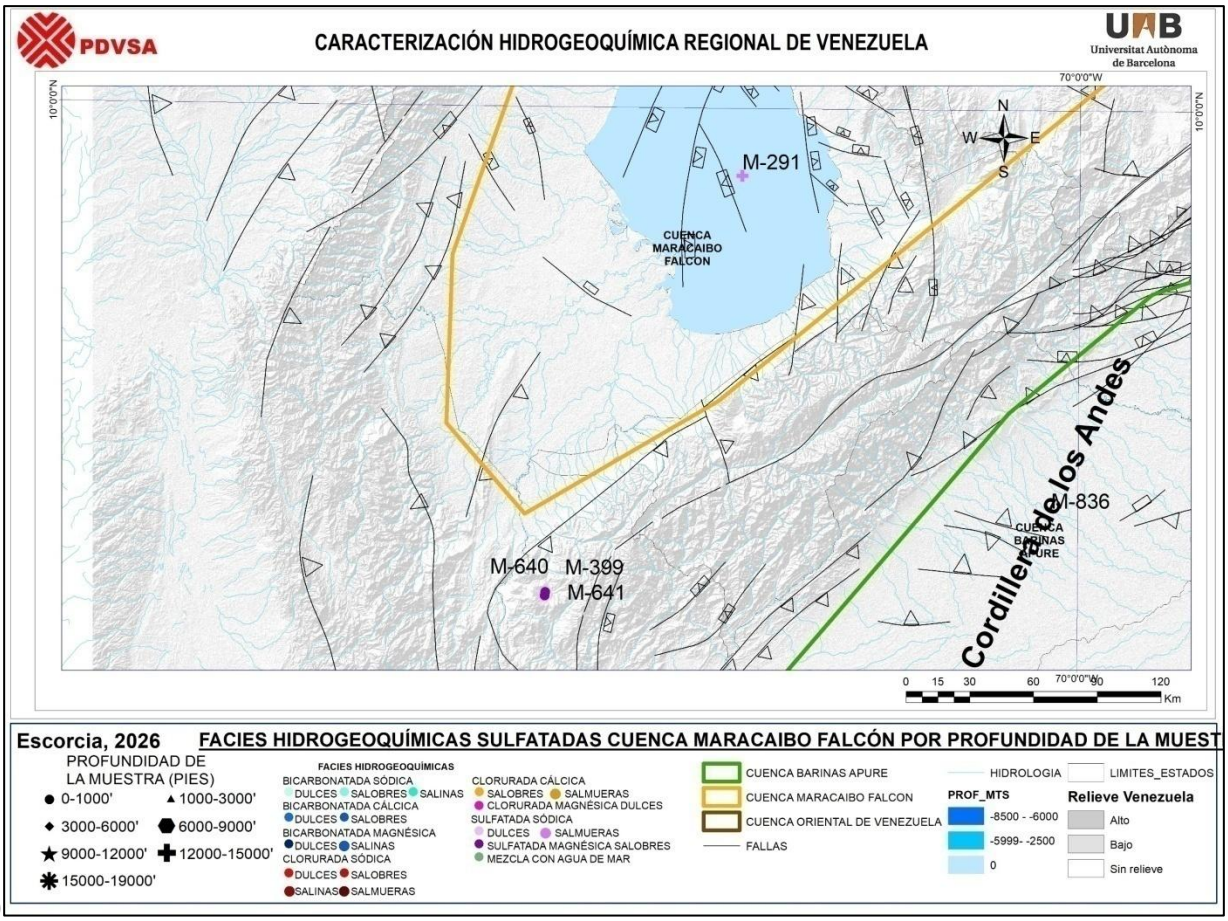
b)

c)


CAJAS Y BIGOTES POR FACIES
Na+K
Ca2+
Mg2+
Cl -
HCO3-+CO3--
SO4 --
Concentración (meq/L)
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
Facies sulfatada_magnésica SALOBRES
Facies sulfatada_sódica DULCES
Facies sulfatada_sódica SALMUERAS

d)


INTERVALO DE PROFUNDIDAD
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
UNIDAD DEPOSITACIONAL
UD II
UD IV
UD V
UD VII
UD VIII
SO4+Cl+NO3
Ca+Mg
CLORURADA Y SULFATO CÁLCICO Y MAGNÉSICAS
CLORURADA SÓDICAS Y POTÁSICAS O SULFATO SÓDICAS
BICARBONATADA CÁLCICO Y MAGNÉSICAS
BICARBONATADAS ÓDICAS Y POTÁSICAS
M-640
M-641
M-399
M-291
Mg
Na+K
Ca
CO3+HCO3
SO4
Cl+NO3



e)

Figura 130. Caracterización de facies sulfatadas sódicas en la Cuenca Maracaibo Falcón: a) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a magnesio. b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a sulfato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. c) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). d) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. e) Mapa con la ubicación de las muestras.

De las muestras en superficie no se tomó un registro eléctrico y de la muestra M-291 no se dispone de datos de perfiles de pozo. Sin embargo, considerando que son muestras de aguas salmueras donde la concentración de SDT es elevada, se presume poca distinción con respecto a la línea base.

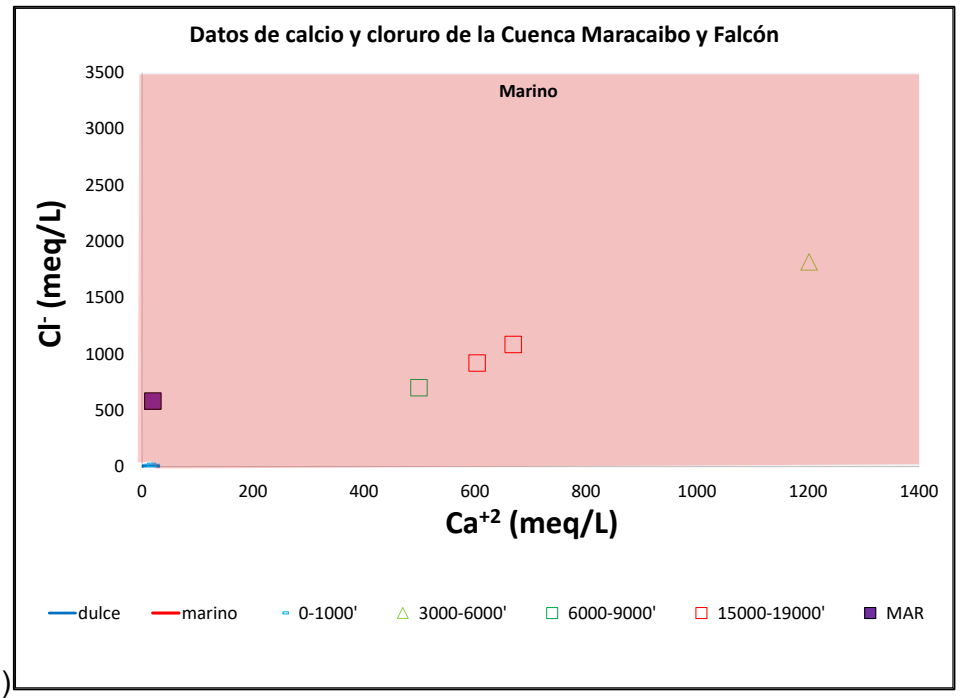
VI. 2. 4 Facies de aguas clorurada cálcica

Según la tipología de Sulin (1946), connata; coherente considerando que el ion mayoritario es cloruro (Figura 63). Esta clasificación se corresponde con la propuesta de Schoeller (1977) en Figura 64, e igual en los diagramas de Stiff (1951) en la Figura 66d. La facies de aguas cloruradas

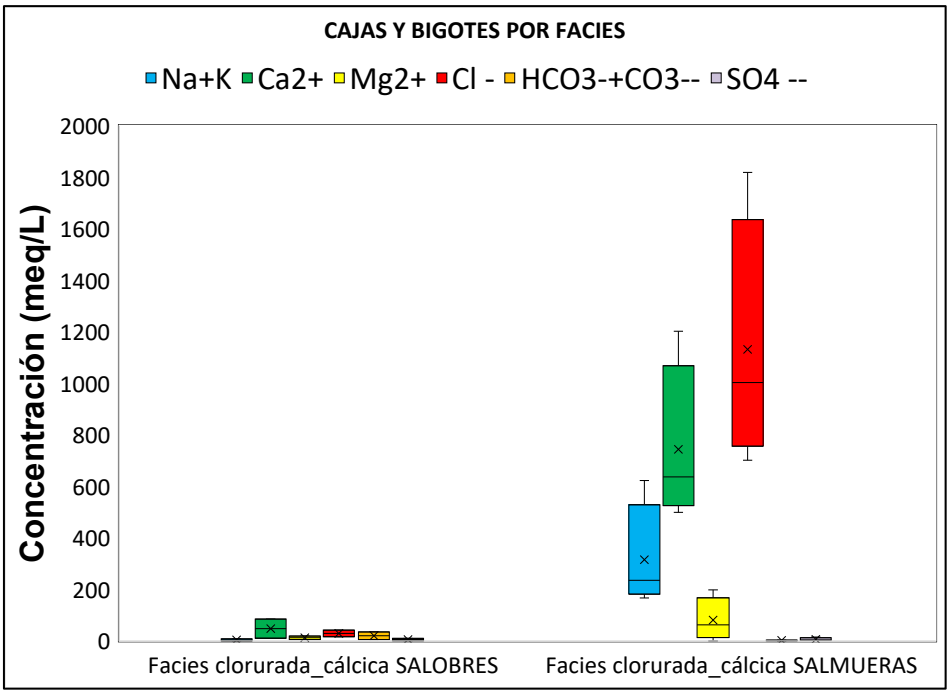
cálcicas se define por la predominancia de estos iones (Figura 131b). y se clasifica como cloruradas y sulfato cálcicas y magnésicas según Piper (1944) en la Figura 131.

En el análisis de iones mayoritarios se observa dentro de la clasificación de dulce a connata, en todos los casos con calcio como ion importante. Se realizó un detalle del gráfico de Ca^{2+}/Cl^{-} y el gráfico de cajas y bigotes y se observa como la concentración de ambos iones tienen una correlación positiva (Figura 131). Adicionalmente la relación Mg^{2+}/HCO_3^{-} pudiera ser indicativa de un proceso de dilución desde rocas como las dolomías.

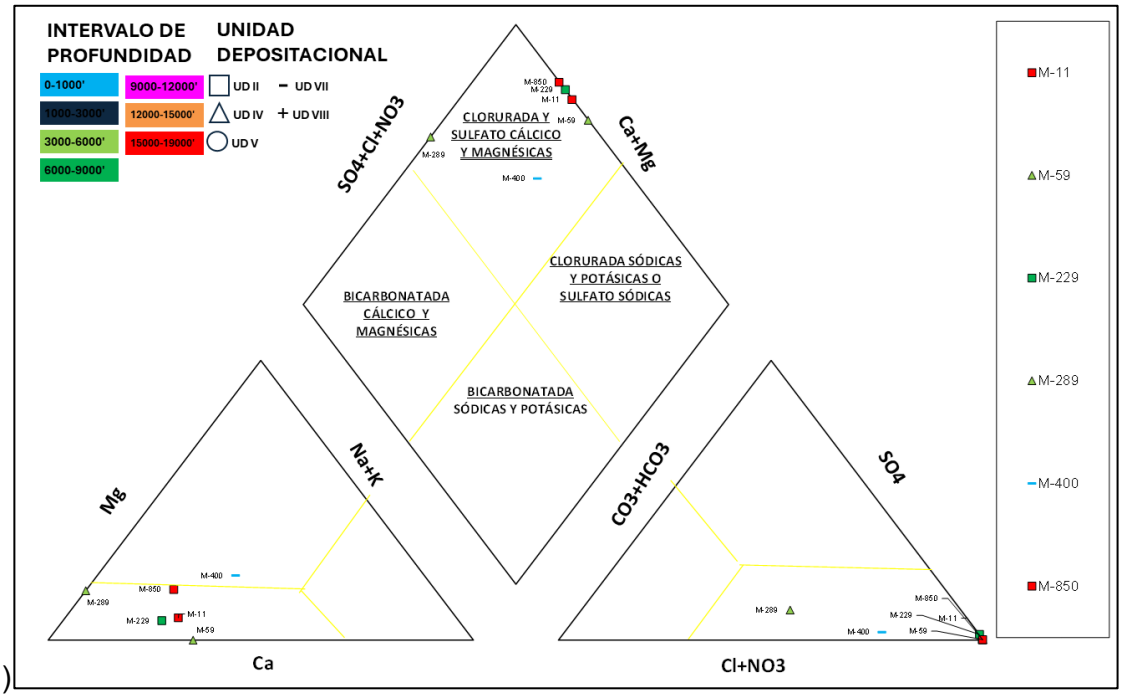
La facies está compuesta por seis (06) de las muestras analizadas, tomadas en profundidades desde 0 a 9.000 pies (~0 a 3.000 metros) y dos entre 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 m), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDII, UDIV y UDVII. En correlación, la cantidad de SDT, varía de salobres a salmueras. Esta facies podría relacionarse con los procesos de interacción roca agua entre un agua de formación y rocas carbonatadas (Tabla 10). Se encuentran en el Lago de Maracaibo dentro del bloque suprimido, donde existen múltiples elementos estructurales.



a)


CAJAS Y BIGOTES POR FACIES
Na+K
Ca2+
Mg2+
Cl -
HCO3-+CO3--
SO4 --
Concentración (meq/L)
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Facies clorurada_cálcica SALOBRES
Facies clorurada_cálcica SALMUERAS

b)


INTERVALO DE PROFUNDIDAD
UNIDAD DEPOSITACIONAL
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
UD II
UD IV
UD V
UD VII
UD VIII
SO4+Cl+NO3
Ca+Mg
CLORURADA Y SULFATO CÁLCICO Y MAGNÉSICAS
CLORURADA SÓDICAS Y POTÁSICAS O SULFATO SÓDICAS
BICARBONATADA CÁLCICO Y MAGNÉSICAS
BICARBONATADA SÓDICAS Y POTÁSICAS
Mg
Na+K
Ca
CO3+HCO3
SO4
Cl+NO3
M-11
M-59
M-229
M-289
M-400
M-850

d)

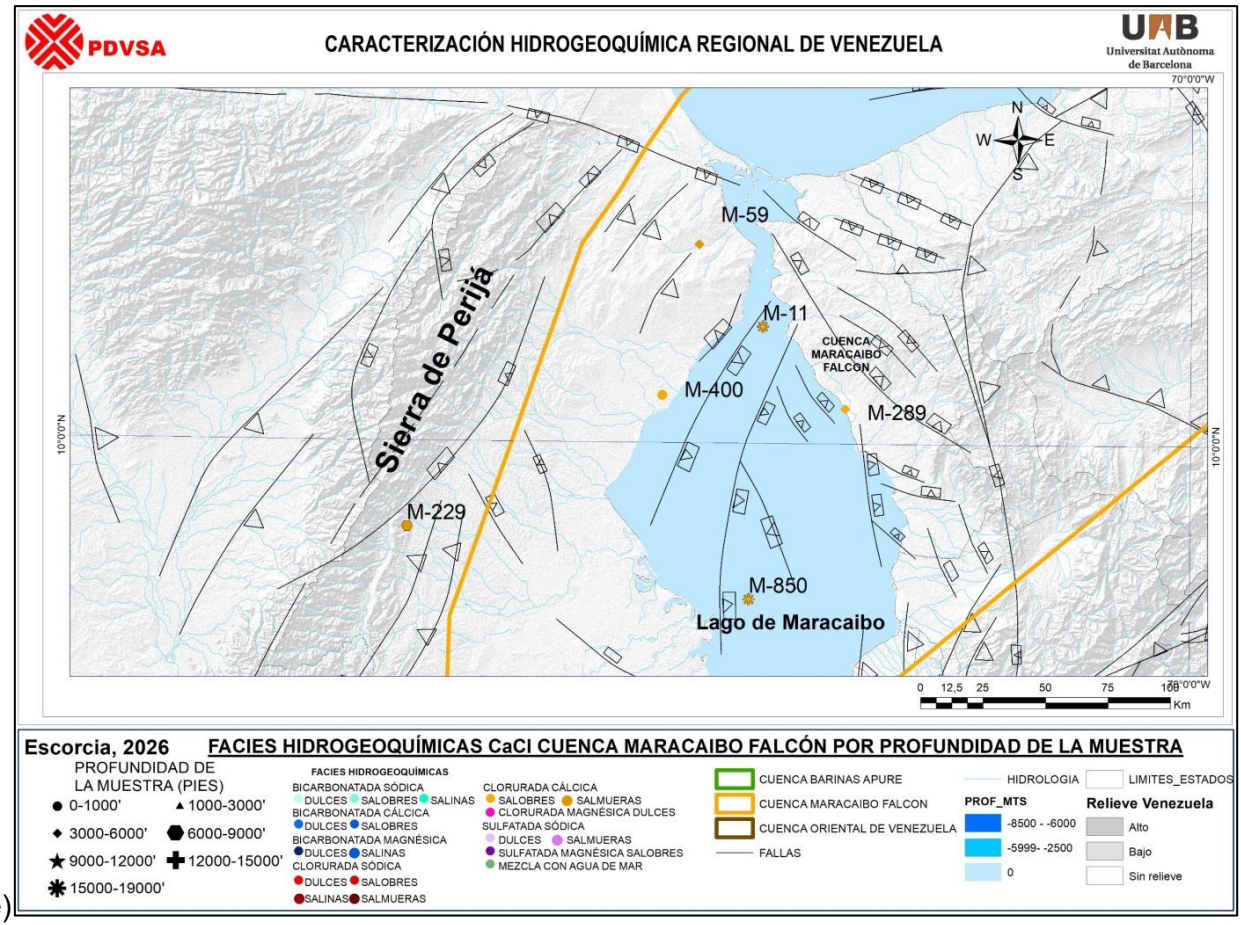
e) 

Figura 131. Caracterización de facies cloruradas cálcica en la Cuenca Maracaibo Falcón: a) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. b) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). c) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. d) Mapa con la ubicación de las muestras.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en el punto de muestreo M-11 (identificado en la Figura 132 con círculo amarillo). En esta zona existe una alta variabilidad de los registros; sin embargo, no se observa un incremento en el intervalo donde se encuentra la muestra.

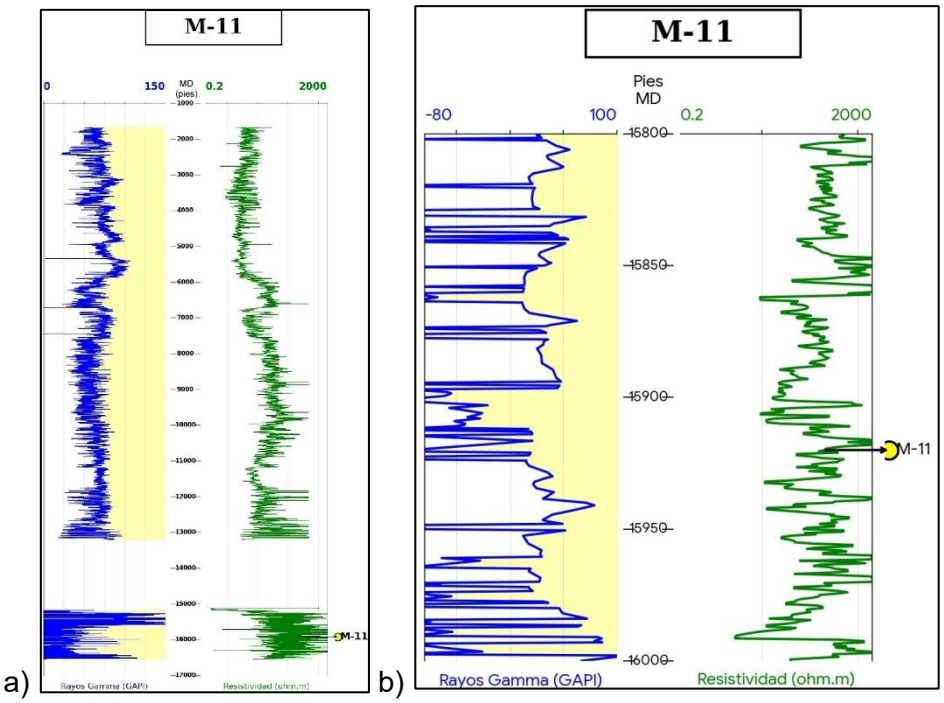


Figura 132.Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada cálcica en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-11 (salmuera). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-11 (salmuera).

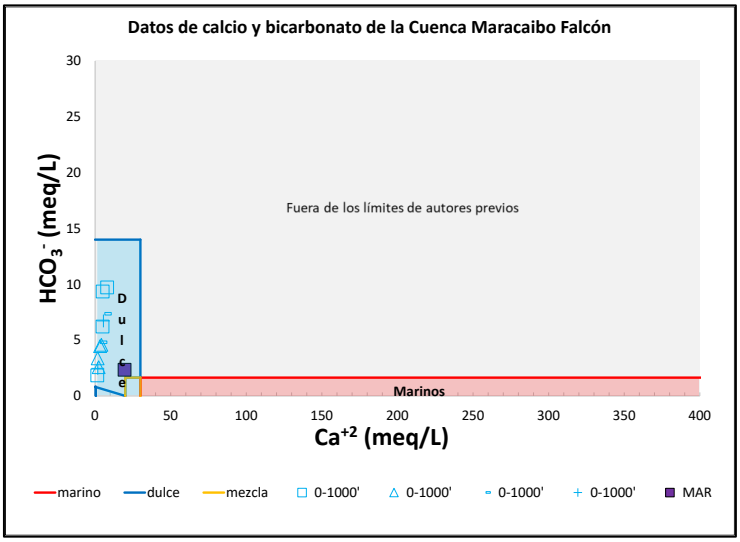
VI. 2. 5 Facies de aguas bicarbonatada cálcica

La facies de aguas bicarbonatada cálcicas se define por la predominancia de estos iones Seis de las muestras son meteóricas y siete connatas de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946); clasificación que no considera estos iones (Figura 63). Esta clasificación se corresponde con la propuesta de Schoeller (1977) en Figura 64, e igual en los diagramas de Stiff (1951) como punta de flecha en la Figura 66a y se clasifica como bicarbonatada cálcicas y magnésicas según Piper (1944) en la Figura 133.

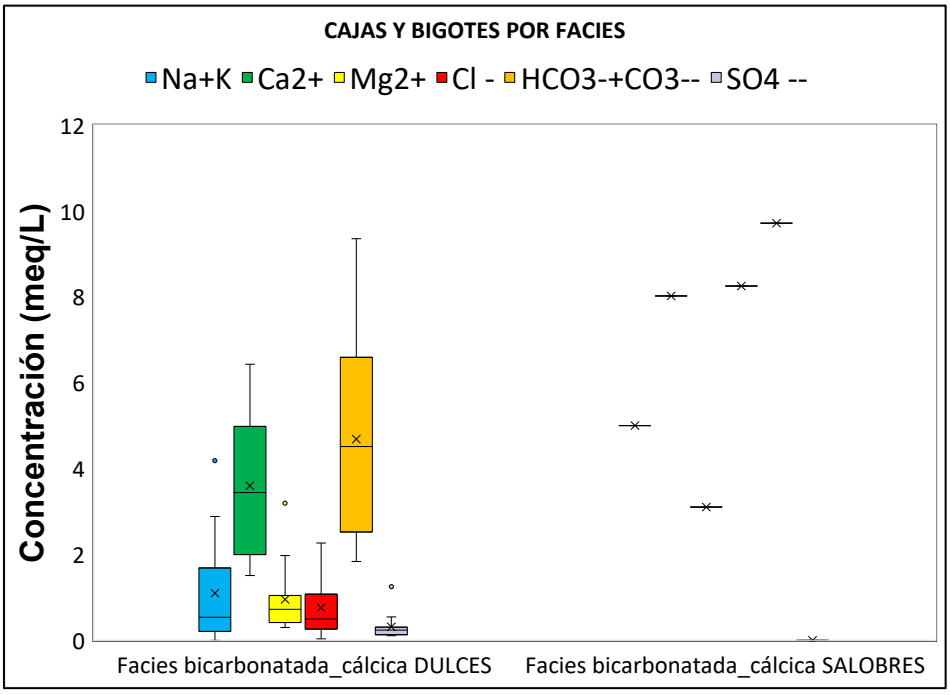
En el análisis de iones mayoritarios se observa dentro de la clasificación de dulce. Se realizó un detalle del gráfico de Ca^{2+}/HCO_3^- y el gráfico de cajas y bigotes ubicándose en la categoría de agua dulce (Figura 133).

La facies está compuesta por trece (13) de las muestras analizadas, tomadas en superficie, en reservorio de las formaciones geológicas equivalentes a la UDII, UDIV, UDVII y UDVIII. La cantidad de SDT mayoritariamente, dulce. Esta facies podría relacionarse con los procesos de interacción roca agua entre agua meteórica o dulce con las litologías adyacentes como calcita (Tabla 10). Las muestras se ubican al oeste y noreste de la Cuenca de Maracaibo y Falcón, ambos terrenos con litologías calcáreas expuestas y/o depositadas cercanas a las muestras. Las muestras que

componen esta subfacies fueron tomadas en superficie, por lo cual no disponen de registros eléctricos para comparar la respuesta asociada.

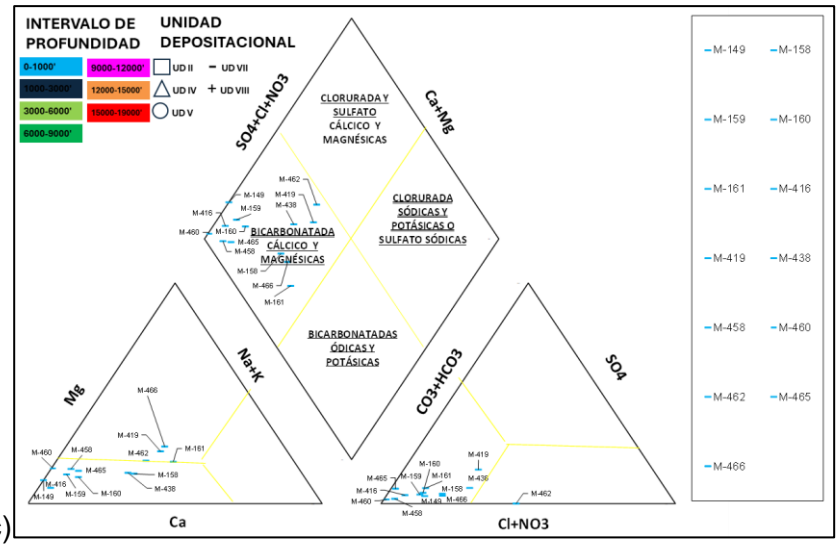


a)



b)

c)



d)

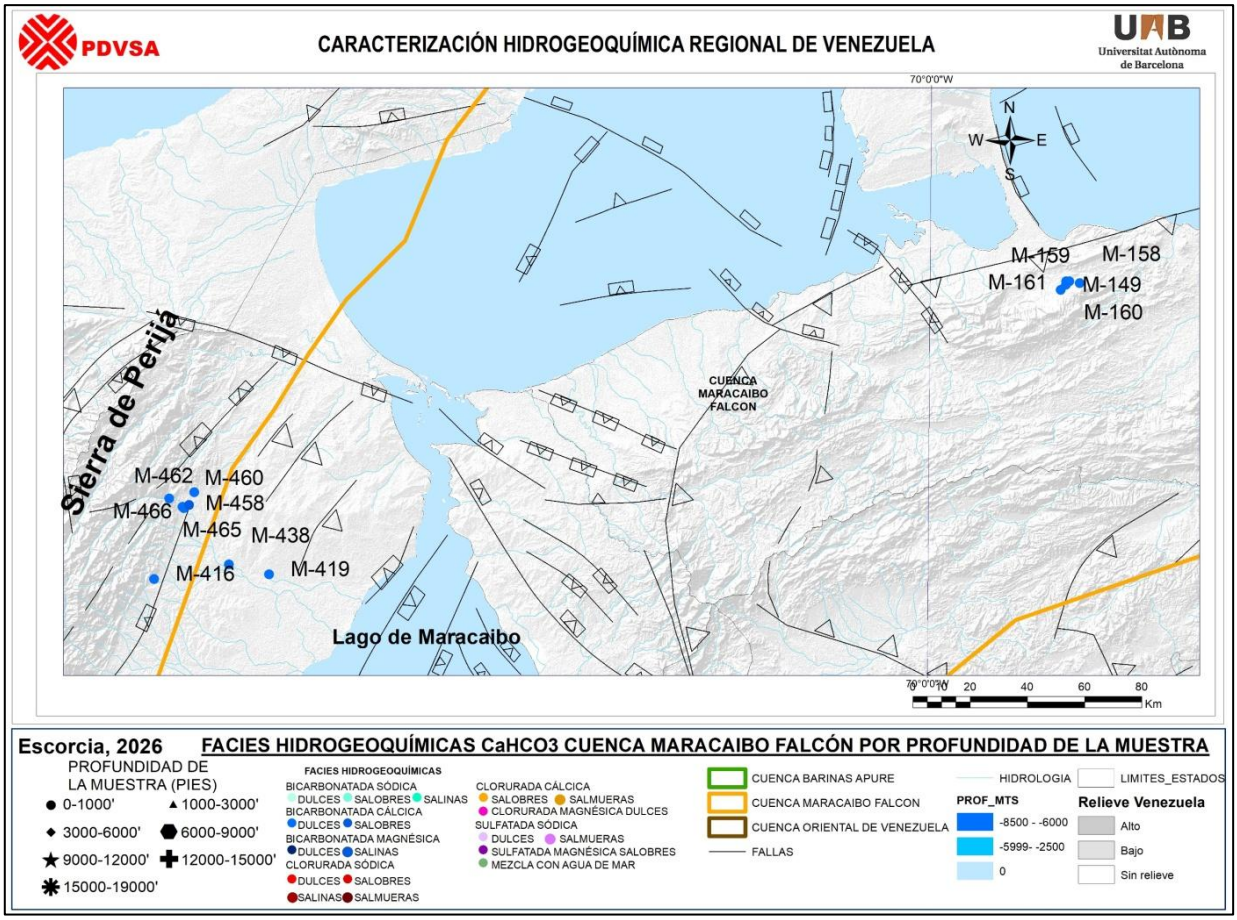
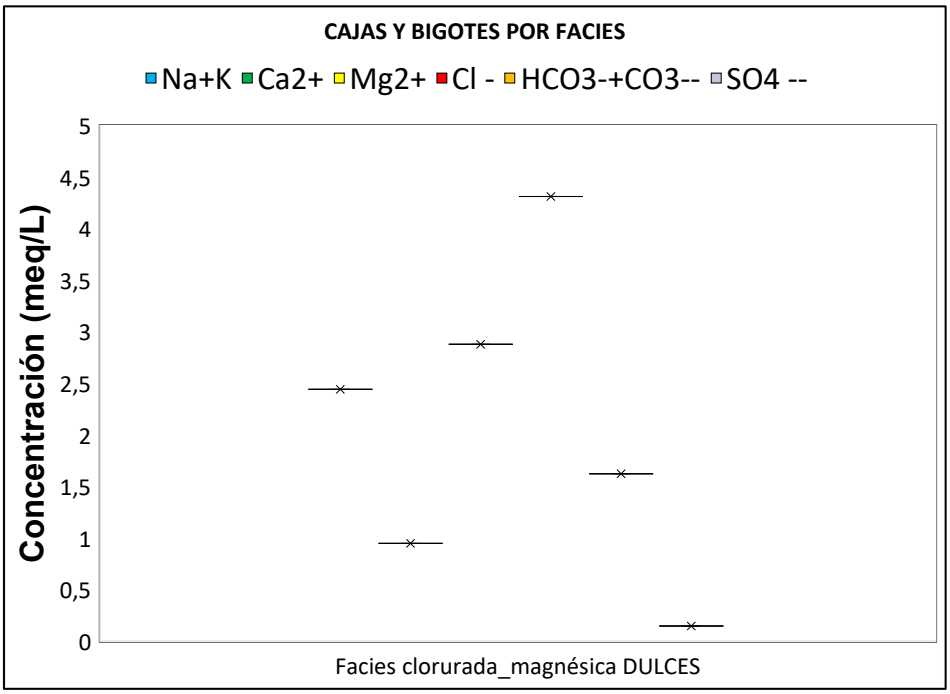


Figura 133. Caracterización de facies bicarbonatadas cálcicas en la Cuenca Maracaibo Falcón: a) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. b) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). c) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. y d) Mapa de la ubicación de las muestras.

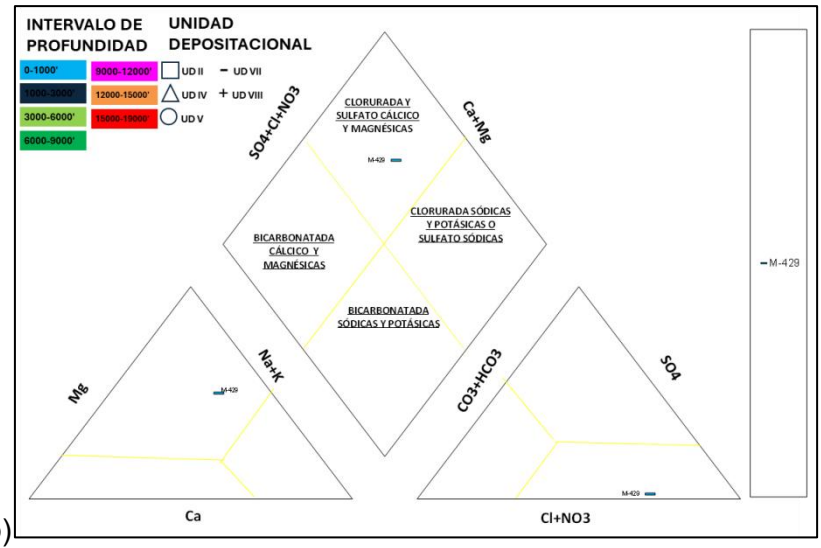
VI. 2. 6 Facies de aguas clorurada magnésica

La facies de aguas clorurada magnésica se define por la predominancia de estos iones. Connata de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946); precisamente porque el ion mayoritario es cloro (Figura 63). Esta clasificación se corresponde con la propuesta de Schoeller (1977) en Figura 64, e igual en los diagramas de Stiff (1951) en la Figura 66e y se clasifica como cloruradas y sulfato cálcicas y magnésicas según Piper (1944) en la Figura 134. En el análisis de iones mayoritarios se observa dentro de la clasificación de dulce e igual de acuerdo con su contenido de sólidos disueltos totales (SDT).

La facies está compuesta por una (01) de las muestras analizadas, tomada en superficie, en un reservorio de una formación geológica equivalente a la UDVII. Esta facies podría relacionarse con los procesos de interacción roca agua entre un agua meteórica y una roca enriquecida en magnesio como dolomía (Tabla 10), o por acción antrópica considerando la cercanía a los centros poblados como El Rosario. La muestra se ubica al noroeste de la Cuenca de Maracaibo cercana a afluentes de ríos y ciudades, por lo cual no disponen de registros eléctricos para comparar la respuesta asociada.

a) 

b)



c)

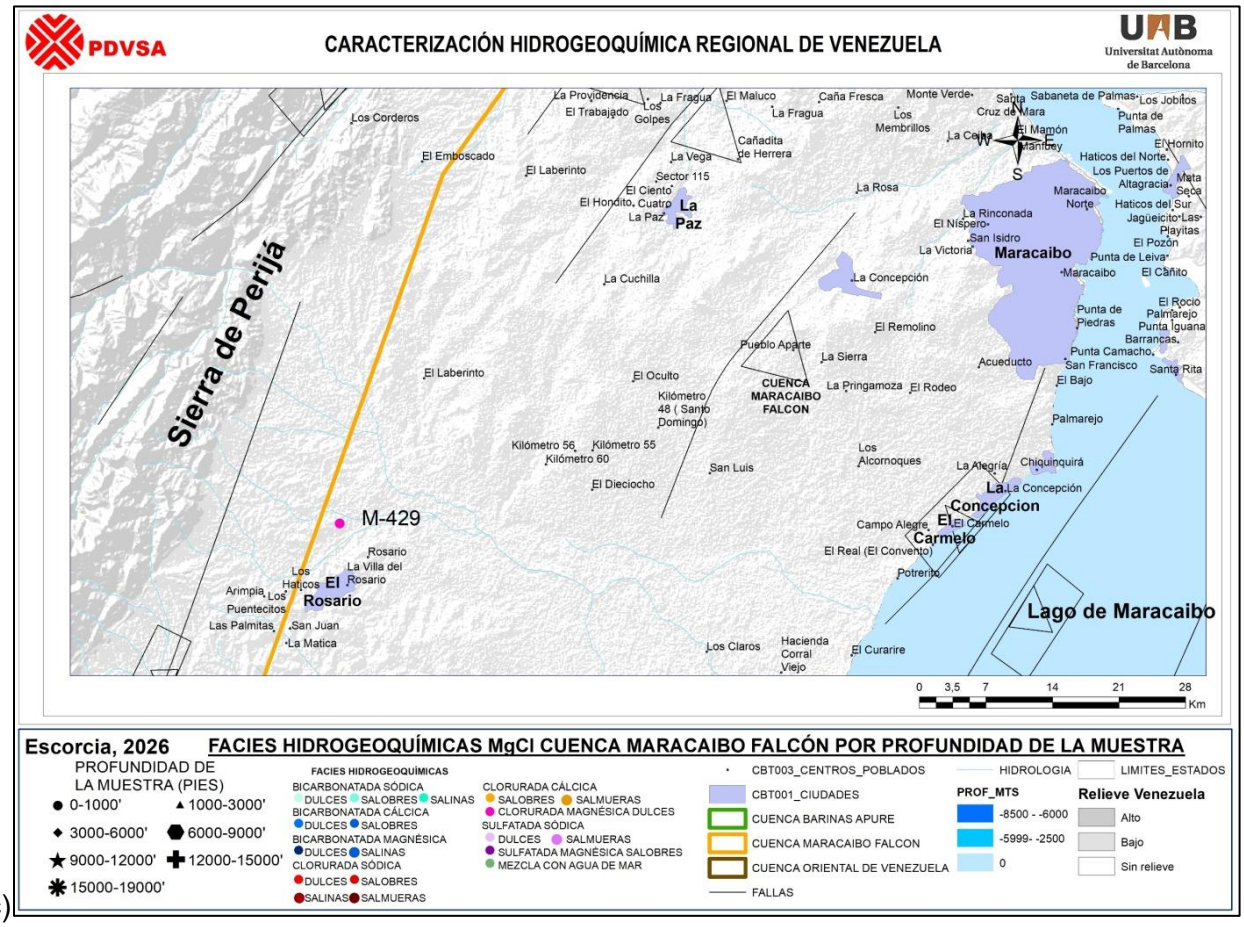


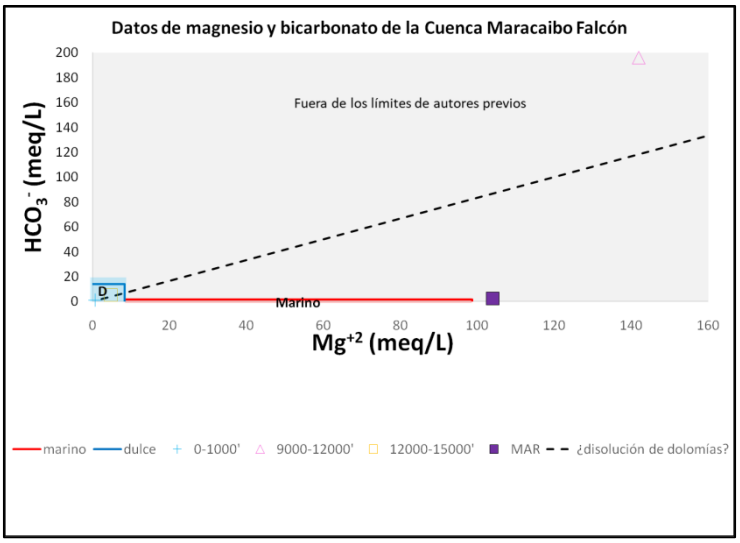
Figura 134. Caracterización de facies cloruradas magnésica en la Cuenca Maracaibo Falcón: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. c) Mapa de la ubicación de las muestras.

VI. 2. 7 Facies de aguas bicarbonatada magnésica

La facies de aguas bicarbonatada magnésicas se define por la predominancia de estos iones. Meteóricas y connatas de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946); clasificación que no considera estos iones (Figura 63). Esta clasificación se corresponde con la propuesta de Schoeller (1977) en Figura 64, e igual en los diagramas de Stiff, (1951) en la Figura 66b y se clasifica como bicarbonatadas cálcicas y magnésicas y cloruradas y sulfato cálcicas y magnésicas, según Piper (1944) en la Figura 135.

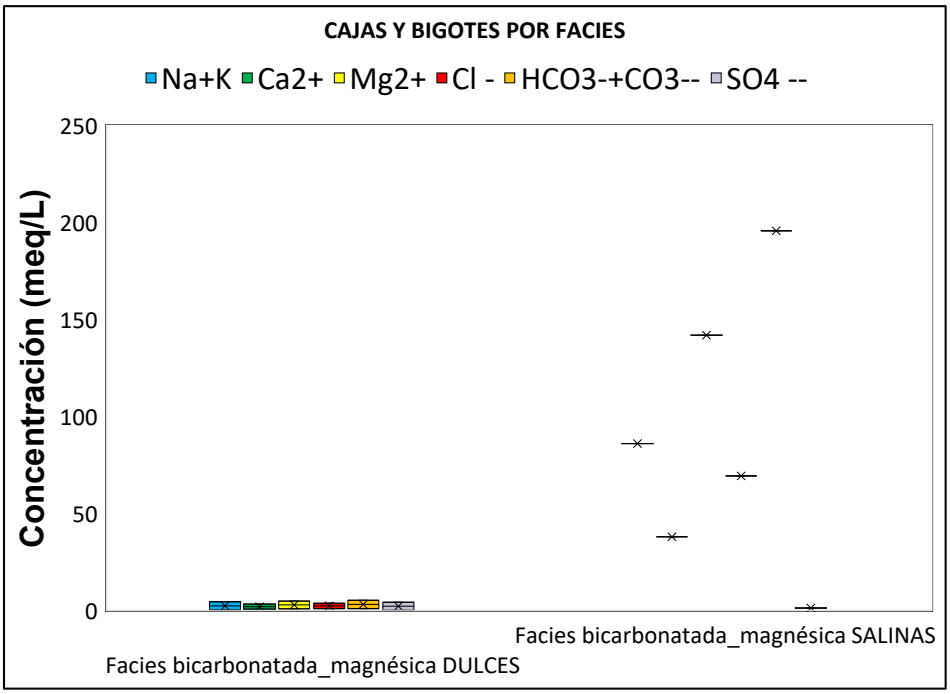
En el análisis de iones mayoritarios y cantidad de sólidos disueltos se observa dentro de la clasificación de aguas dulces y connatas muy diluida (salina). Se realizó un detalle del gráfico de Mg^{2+}/HCO_3^- y el gráfico de cajas y bigotes ubicándose en la categoría de agua dulce (Figura 135).

Son bastante escasas en esta cuenca, teniendo tres muestras de agua al este de la cuenca, que no necesariamente se encuentran correlacionadas; tomadas en tres intervalos a saber: 0-1.000 pies (~0 a 300 metros); 9.000-12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros) y 15.000-19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDII, UDIV y UDVIII. Esta facies podría relacionarse con los procesos de interacción roca agua local, entre aguas dulces y rocas enriquecidas en magnesio como dolomías (Tabla 10, mezcla con agua de mar, o por acción antrópica).

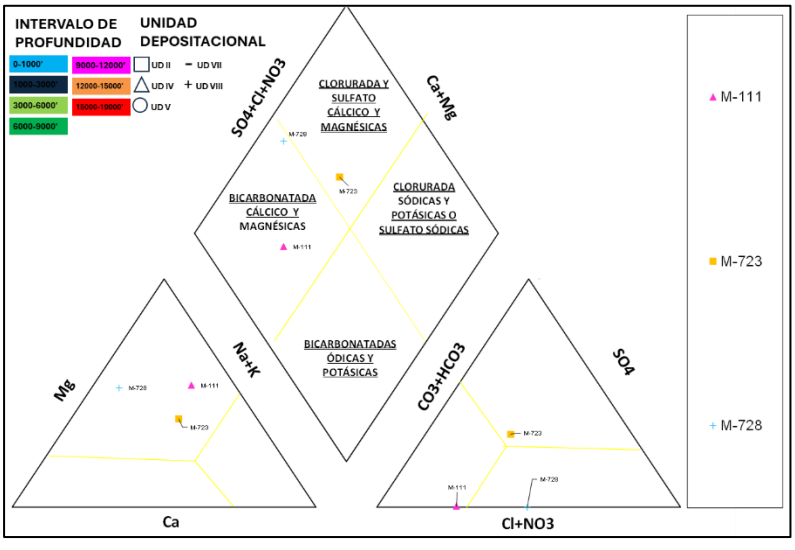


a)

b)


CAJAS Y BIGOTES POR FACIES
Na+K
Ca2+
Mg2+
Cl -
HCO3-+CO3--
SO4 --
Concentración (meq/L)
250
200
150
100
50
0
Facies bicarbonatada_magnésica SALINAS
Facies bicarbonatada_magnésica DULCES

c)


INTERVALO DE PROFUNDIDAD
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
UNIDAD DEPOSITACIONAL
UD II
UD IV
UD V
UD VII
UD VIII
SO4+Cl+NO3
Ca+Mg
CLORURADA Y SULFATO CÁLCICO Y MAGNÉSICAS
BICARBONATADA CÁLCICO Y MAGNÉSICAS
CLORURADA SÓDICAS Y POTÁSICAS O SULFATO SÓDICAS
BICARBONATADAS ÓDICAS Y POTÁSICAS
Mg
Na+K
Ca
CO3+HCO3
SO4
Cl+NO3
M-111
M-723
M-728

d)

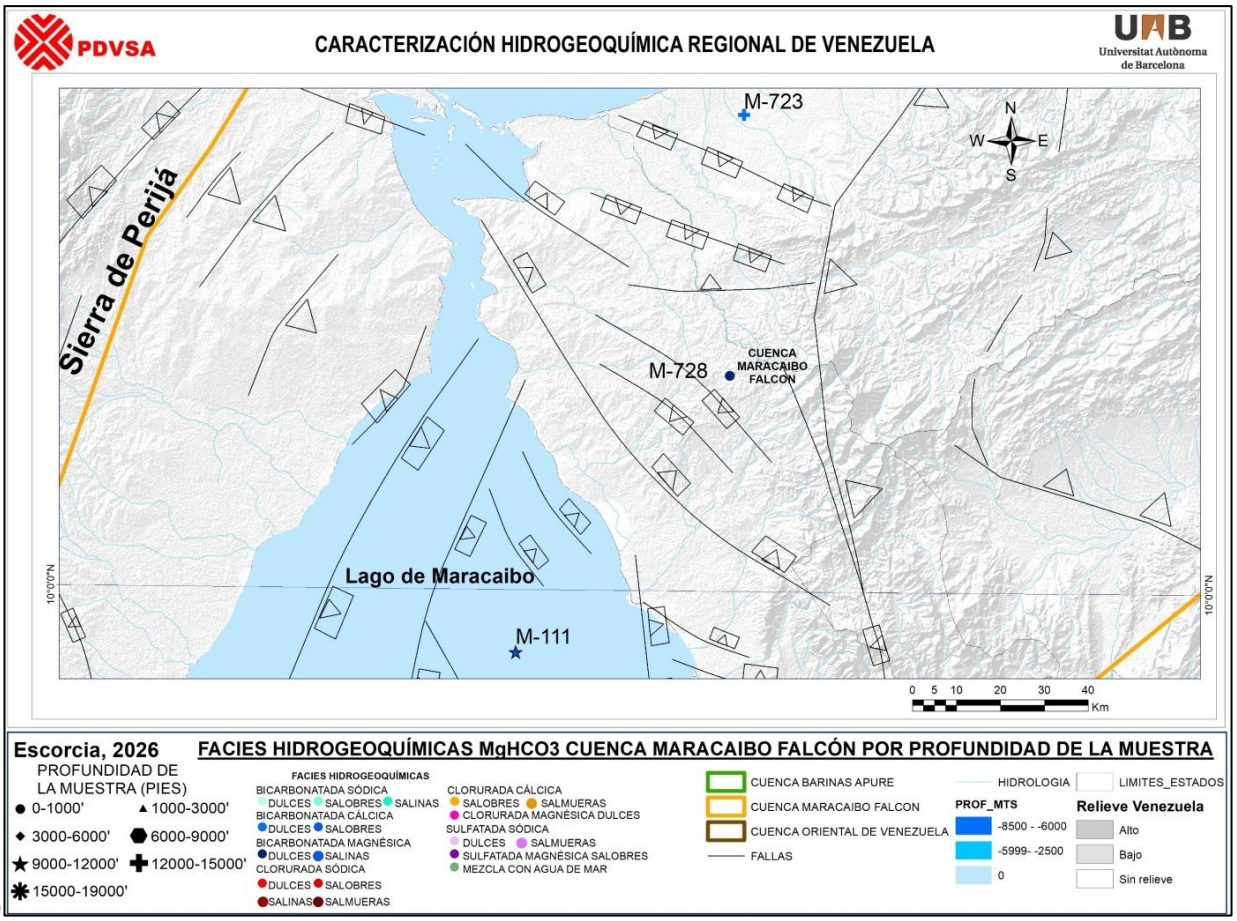


Figura 135. Caracterización de facies bicarbonatada magnésica en la Cuenca Maracaibo Falcón: a) Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. b) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). c) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L y d) Mapa de ubicación de las muestras.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en el punto de muestreo M-723 (identificado en la Figura 136 con círculo amarillo). La muestra disponible se encuentra por debajo del intervalo con curva de resistividad disponible.

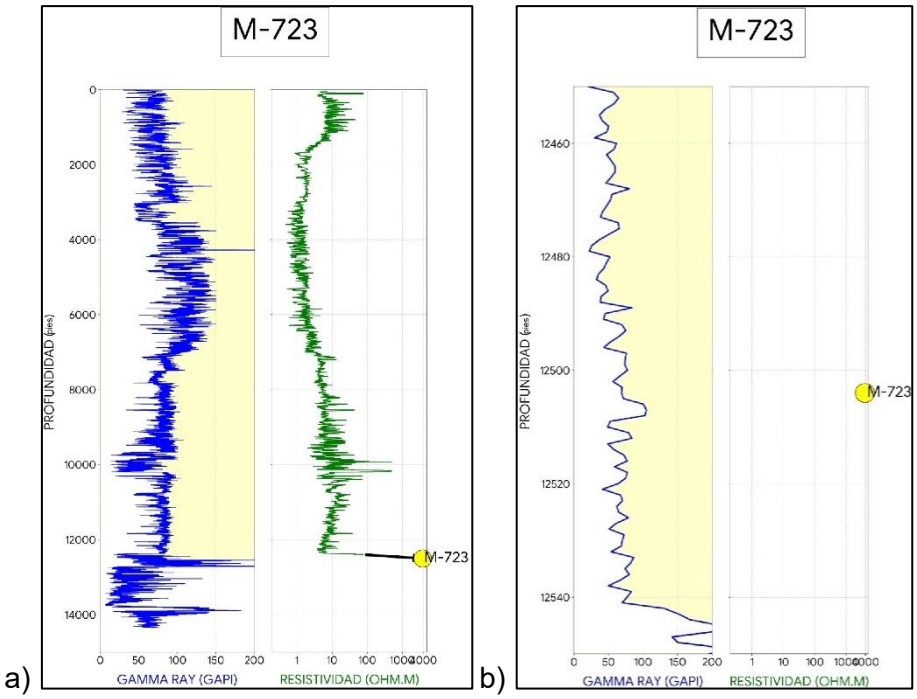


Figura 136.Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada magnésica en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-723 (dulce). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubican las muestras de agua M-723 (dulce).

VI. 2. 8 Distribución vertical de las facies

Tras la caracterización de las facies, se realizó un análisis de la distribución de las muestras por rangos de profundidad. El objetivo fue identificar los procesos hidrogeoquímicos que podrían controlar la evolución de la composición iónica del agua en las diferentes cuencas.

- Intervalo de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros): En las cuencas de Maracaibo y Falcón se identificaron todas las facies estudiadas (Figura 118, Figura 129, Figura 130, Figura 131, Figura 133, Figura 134 y Figura 135). En Falcón, predominan las facies cloruradas y bicarbonatadas sódicas, sugiriendo procesos de mezcla. Hacia el sector del Río El Palmar (Maracaibo), las facies cloruradas cálcicas al noroeste indican un posible intercambio iónico con rocas carbonáticas. Se observa una gradación hidroquímica que abarca desde aguas cloruradas sódicas y mezclas con agua marina, hasta aguas bicarbonatadas sódicas con elevados SDT. Adicionalmente, pareciera que las muestras al sur de la Falla de Oca Acón tienen composiciones bicarbonatadas sódicas, mientras que al norte son cloruradas sódicas.

- Intervalo de 1.000 a 3.000 pies (~300 a 100 metros): Las muestras se concentran en el sector oriental y en la Cuenca de Falcón. Predominan las aguas cloruradas sódicas y bicarbonatadas sódicas, principalmente bajo la subfacies dulce con altos SDT (Figura 118 y Figura 129). Aunque no se observa una correlación directa con rasgos estructurales, se

postula un proceso de mezcla de fluidos, particularmente al este de la Falla de Icotea y al sur de la Falla de Oca Acón.

- Intervalo de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros): Este rango presenta características similares al anterior. No obstante, en la Cuenca de Maracaibo aparecen facies cloruradas cálcicas (Figura 131), posiblemente atribuibles al intercambio iónico con carbonatos. Al suroeste, la presencia de la facies bicarbonatada sódica (subfacies meteórica) sugiere procesos de migración de fluidos hacia intervalos más profundos, posiblemente producto de las fallas del Lago de Maracaibo (Figura 129).

- Intervalo 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros): La salinidad es heterogénea, variando desde aguas dulces hasta salmueras. Se identificaron facies bicarbonatadas sódicas (Figura 129), cloruradas sódicas (Figura 118) y, localmente, cloruradas cálcicas (Figura 131). Estas últimas se ubican en el límite oriental de la Sierra de Perijá, vinculadas posiblemente a la interacción con rocas carbonáticas y tienen muestras cercanas cloruradas sódicas, desde las cuales pudo provenir esta muestra. Las aguas cloruradas sódicas (ubicadas mayoritariamente al norte) varían de connatas a dulces con altos SDT. La proximidad de algunas muestras a elementos estructurales, sin alteración de su naturaleza química original sugiere que ciertas fallas actúan como sellos efectivos e inefectivos donde la composición varía a bicarbonatada sódica (Ej. este de la Falla de Icotea y suroeste de la Falla de Oca Acón).

- Intervalo 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros): Predominan las facies cloruradas sódicas (Figura 118), bicarbonatadas sódicas (Figura 129) y bicarbonatadas magnésicas (Figura 135). La transición de subfacies connatas a dulces indica procesos de mezcla con aguas de baja salinidad, manteniendo la morfología de "embudo" en los diagramas de Stiff. La presencia de la subfacies meteórica a estas profundidades es un indicador crítico de vías de migración vertical. Al igual que en la Cuenca Barinas Apure, el predominio de aguas bicarbonatadas sódicas podría derivar de la mezcla entre aguas connatas y dulces, o del intercambio iónico con el entorno carbonatado.

- Intervalo 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros): Las muestras provienen mayoritariamente del Lago de Maracaibo. Se observa una zonación marcada por la Falla de Icotea: facies cloruradas sódicas al oeste (Figura 118, con salinidades que alcanzan el rango de salmueras) y facies bicarbonatadas sódicas al este (Figura 129). Destaca la muestra M-291 por su composición sulfatada sódica, probablemente producto de la oxidación de pirita asociada a la roca madre del área, y la muestra M-273 (bicarbonatada magnésica) al noreste de Falcón, posiblemente como resultado de un intercambio con rocas.

- Intervalo 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros): A profundidades máximas, predominan las facies cloruradas sódicas (Figura 118), con una tendencia de salinidad decreciente hacia el norte, pero que varía de salobre a salmuera. Asimismo, las facies cloruradas cálcicas identificadas refuerzan la interpretación de una interacción prolongada con secuencias carbonatadas profundas, como lo son las rocas constitutivas de la UDII.

- Como parte del resumen se podría decir que la variabilidad hidrogeoquímica observada en el intervalo de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros) refleja una compleja interacción entre la arquitectura estructural y la mineralogía de la roca hospedante. Destaca la identificación de la facies sulfatada sódica (M-291), la cual se postula como el resultado de la oxidación de sulfuros (pirita) contenidos en la roca madre o, alternativamente, la disolución de niveles evaporíticos locales seguidos de un proceso de intercambio iónico. Asimismo, la segmentación hidroquímica observada a través de la Falla de Icotea refuerza la interpretación de este rasgo estructural como una barrera sellante, mientras que la infiltración de la subfacies meteórica en niveles profundos evidencia la conectividad hidráulica vertical a través de sistemas de fracturas activos.

VI. 3. Facies hidrogeoquímicas Cuenca Oriental de Venezuela

El análisis de las relaciones elementales y la clasificación de las muestras de agua de acuerdo con los diferentes autores ha permitido distinguir facies que se pueden relacionar entre sí. En la Cuenca Oriental se han identificado 35 facies hidrogeoquímicas, que pueden agruparse de acuerdo con sus iones mayoritarios en seis, descritas a continuación (

Tabla 42, Figura 137).

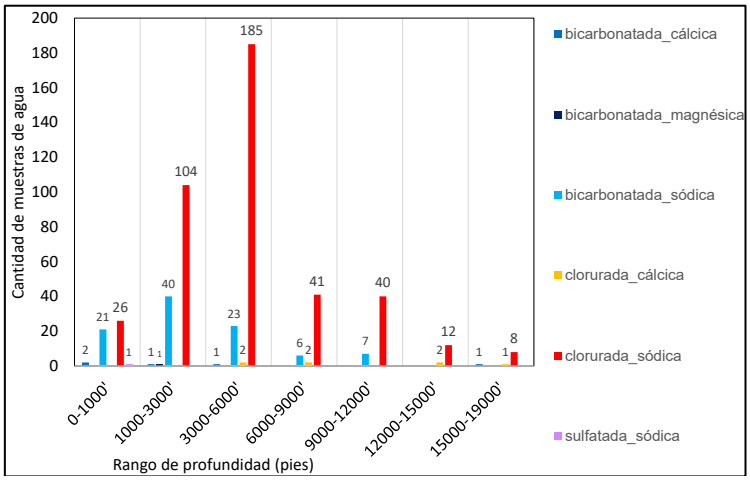


Figura 137. Diagrama de columnas con la cantidad de muestras en cada facies hidrogeoquímica en la Cuenca Oriental de Venezuela de acuerdo con el rango de profundidad en la cual fue tomada la muestra.

Tabla 42. Resumen de las clasificaciones utilizadas en la caracterización hidrogeoquímica para la identificación de las facies hidrogeoquímicas en la Cuenca Oriental: NaCl: Facies Clorurada sódicas, $CaCl_2$: Facies Clorurada cálcica; Na_2SO_4: Facies sulfatadas sódica; $NaHCO_3$: Facies bicarbonatadas sódicas; $Ca(HCO_3)_2$: Facies bicarbonatadas cálcica; $Mg(HCO_3)_2$: Facies bicarbonatadas magnésica.

Clasificación e indicador	Autor	Categorías	Facies Hidrogeoquímica Cuenca Oriental					
			NaCl	$CaCl_2$	Na_2SO_4	$NaHCO_3$	$Ca(HCO_3)_2$	$Mg(HCO_3)_2$
Concentración SDT (ppm)	Hem (1970)	Dulces	■			■	■	
		Salobres	■	■	■	■		■
		Salinas	■	■		■		
		Salmueras	■	■				
Relaciones Inter elementales Aniones y cationes (meq/L)	Varios	Dulce	■			■	■	■
		Dulce (Ca>Mg)	■			■		
		Dulce (~+SO4)				■		
		Dulce (+Ca)	■			■	■	
		Dulce (+Cl-) y (-Ca)	■			■		
		Dulce (+Mg)				■		
		Dulce (Algunas +Ca y/o Mg)				■		
		Dulce (Algunas +Cl-)	■			■		
		Dulce (Algunas +Ca)					■	
		Dulce (Algunas +Mg)	■			■		
		Dulce (Algunas +SO4 o +Ca)	■					
		Dulce (Algunas +SO4 o +Mg)	■		■			
		Dulce (Algunas +SO4)				■		
		Dulce (Algunas -SO4 o +Mg)	■					
		Dulce (Algunas -SO4)	■			■		
		Dulce (-SO4, Ca >Mg)				■		
		Dulce (+Cl-) o Connata (Ca>Mg)	■					
		Dulce (+Cl-) o Connata Diluida	■					
		Dulce (+Cl-) o Mezcla o Connata Diluida	■					
		Dulce (Algunas +Cl-) o Connata Muy Diluida	■					
		Dulce (+Mg) o Connata (+Mg, +SO4)	■					
		Dulce (Algunas +Mg) o Mezcla a Connata (Algunas +Br)	■					

Continuación Tabla 42

Clasificación e indicador	Autor	Categorías	Facies Hidrogeoquímica Cuenca Oriental					
			NaCl	$CaCl_2$	Na_2SO_4	$NaHCO_3$	$Ca(HCO_3)_2$	$Mg(HCO_3)_2$
Relaciones Inter elementales Aniones y cationes (meq/L)	Varios	Mezcla a Dulce	■					
		Mezcla (+Br)	■					
		Mezcla ($CaCl_2$)	■					
		Mezcla a Connata (+Br)	■					
		Mezcla a Connata ($CaCl_2$)	■	■				
		Mezcla o Connata	■					
		Mezcla o Connata Diluida	■					
		Connata o Connata Diluida (+Ca)	■					
		Connata o Connata Diluida (-Ca)	■					
		Connata o Connata Diluida o Mezcla	■					
		Connata o Connata Muy Diluida o Mezcla a Dulce	■					
		Connata o Dulce	■					
		Connata o Mezcla a Connata	■					
		Connata o Mezcla a Connata (+Cl, -Br)	■					
		Connata, Connata Diluida (+Ca)	■					
		Connata, Mezcla a Connata	■					
		Connata Muy Diluida	■			■		
		Connata Muy Diluida (~+Mg)	■					
		Connata Muy Diluida (+HCO3)	■					
		Connata Muy Diluida (Algunas +HCO3)	■					
		Connata Muy Diluida o Dulce	■			■		
		Connata Muy Diluida o Dulce (+Ca)					■	
		Connata Muy Diluida o Mezcla	■					
		Connata Muy Diluida o Mezcla (~+SO4)	■					
		Connata Diluida	■	■				
		Connata Diluida (+Ca)	■					

Continuación Tabla 42

Clasificación e indicador	Autor	Categorías	Facies Hidrogeoquímica Cuenca Oriental					
			NaCl	$CaCl_2$	Na_2SO_4	$NaHCO_3$	$Ca(HCO_3)_2$	$Mg(HCO_3)_2$
Relaciones Inter elementales Aniones y cationes (meq/L)	Varios	Connata Diluida (+Mg) o Dulce o Mezcla (+Mg)	■			■		
		Connata Diluida (+Mg, +SO4)				■		
		Connata Diluida (-Ca)	■					
		Connata Diluida (-Ca) o Dulces o Mezclas a Dulce	■					
		Connata Diluida (-Mg)	■					
		Connata Diluida o Mezcla a Connata	■					
		Connata (Algunas +dolomita) o Connata Diluida (+Ca)	■					
		Connata (+Mg, +Cl), Algunas Diluida o Mezcla a Connata	■					
		Connata (Algunas Diluida)	■					
		Connata (Algunas Mezclas a Dulces (+Mg))	■					
		Connata (+Ca)	■					
		Connata (+Ca, +Cl, +Mg)	■	■				
		Connata (+Cl)	■					
		Connata (+Cl, +Ca, ~+Mg) Algunas +SO_4 Y -Cl	■					
		Connata (+Cl, -Br)	■					
		Connata (+dolomita)	■					
		Connata (+Mg)	■					
		Connata (+Mg, +Cl)	■					
		Connata (+Mg, Algunas +SO_4, +Br, +Cl)	■					
		Connata (Algunas +Br, +Cl)	■					
		Connata (Algunas +dolomita)	■					
		Connata	■	■				
		Marino (+SO4, +Mg)	■					
Tipo de agua NaCl	Sulin (1946)	Meteórica	■		■	■	■	
		Connata	■	■			■	■

Continuación Tabla 42

Clasificación e indicador	Autor	Categorías	Facies Hidrogeoquímica Cuenca Oriental					
			NaCl	$CaCl_2$	Na_2SO_4	$NaHCO_3$	$Ca(HCO_3)_2$	$Mg(HCO_3)_2$
Logarítmica Aniones y cationes (meq/L)	Schoeller (1977)	Clorurada Sódica	■					
		Clorurada Cálcica		■				
		Sulfatada Sódica			■			
		Bicarbonatada Sódica				■		
		Bicarbonatada Cálcica					■	
		Bicarbonatada Magnésica						■
Triángulo Aniones y cationes (meq/L)	Piper (1944)	Bicarbonatadas Sódicas y Potásicas	■			■	■	
		Bicarbonatadas cálcicas y magnésicas				■	■	■
		Clorurada Sódica y Potásica o Sulfato Sódicas	■		■	■		
		Clorurada y Sulfato Cálcicas y Magnésicas		■				
Patrones gráficos Aniones y cationes (meq/L)	Stiff (1951)	Clorurada Sódica	■					
		Clorurada Sódica Diluido	■					
		Clorurada Cálcica		■				
		Sulfatadas			■			
		Bicarbonatada sódica				■		
		Bicarbonatada cálcica					■	
		Bicarbonatada Magnésica						■
Isótopos $\delta^{18}O$ y $\delta^{2}H$	Doménico y Schuwartz (1990)	enriquecida en D	■				■	
		entre LMM y línea de mezcla agua de mar	■					
		interacción con rocas en el medio	■			■		
		mezcla agua meteórica agua de mar	■					
		sobre la LMM	■			■	■	

VI. 3. 1 Facies de aguas clorurada sódica

Las muestras con facies de aguas cloruradas sódicas son aquellas donde estos iones tienen la composición mayoritaria, clasificadas así en Schoeller (1977) en la Figura 90. Sin embargo, como resultado de los procesos hidrogeoquímicos que ocurrieron, existen pocas muestras con una clasificación característica por lo cual se discretizaron ocho (08) subfacies con esta composición.

Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como mezcla con agua de mar

Identificadas como aguas connatas de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946) (Figura 89). Para estas muestras, el patrón de Stiff (1951) en la en la Figura 92e es un embudo, clasificándose en el lado derecho superior del rombo de las aguas clorurada sódico-potásica o sulfato sódica según Piper (1944) en la Figura 153 (polígono morado).

De acuerdo con el análisis de iones mayoritarios estas muestras presentan la misma huella que el agua de mar, lo cual puede observarse en el gráfico de sodio con cloruro, magnesio con sulfato y cloruro en relación con bicarbonato (Figura 138).

La subfacies está compuesta por catorce (14) de las muestras analizadas, tomadas en el intervalo de profundidad de 0 a 1.000 pies (0 a 300 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a UDVIII, tomados en la Laguna de Píritu cercanos al Mar Caribe (Ponton Jimenes, 2018) (Figura 153). Seis (06) son salinas (10.000–35.000 mg/L) y ocho (08) son salmueras (>35.000 mg/L). Las muestras que componen esta subfacies fueron tomadas en superficie, por lo cual no disponen de registros eléctricos para comparar la respuesta asociada.

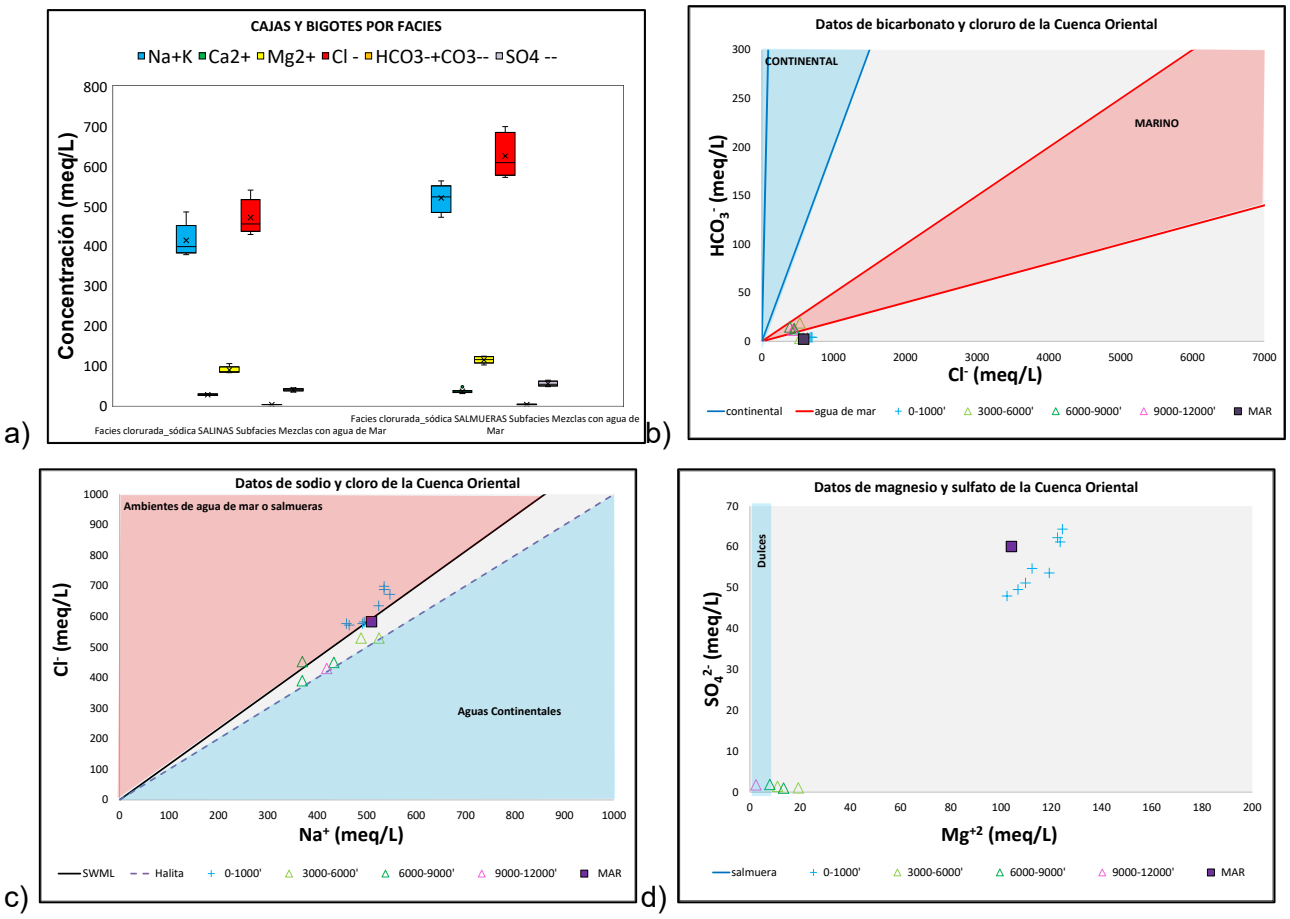


Figura 138. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies mezcla con agua de mar en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. d) Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a sulfato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como connatas

Identificadas como aguas connatas de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946) (Figura 89). Para estas muestras, el patrón de Stiff (1951) en la Figura 92e es un embudo bien definido, clasificándose en el lado derecho superior del rombo de las aguas clorurada sódico-potásica o sulfato sódica según Piper (1944) en la Figura 153 (polígono vinotinto).

De acuerdo con el análisis de iones mayoritarios estas muestras son predominantemente connatas-cloruradas sódicas, guardan la misma proporción de los iones sodio y cloro y están ubicadas en o alrededor del recuadro de aguas de origen marino en los gráficos de sodio cloruro y bicarbonato cloruro (Figura 139). En el gráfico de cloruro en relación con bromuro, existen datos alrededor de la curva de agua de mar y otros en los que se podría suponer una precipitación de halita y/o presencia de hidrocarburos. Y en cuatro casos puntuales la posibilidad de existencia de dilución de dolomía, proceso que podría ser simulado en el siguiente capítulo.

La subfacies está compuesta por sesenta y ocho (68) de las muestras analizadas, presentes en los intervalos más profundos que 1.000 pies (~300 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDII, UDIV y UDVIII. Dos son salobres (SDT: 1.000–10.000 mg/L), cuarenta y cuatro (44) son salinas (10.000–35.000 mg/L) y veintidós (22) son salmueras (>35.000 mg/L). Esta subfacies podría relacionarse con aguas de formación descritas como aquellas que se encuentran en la roca al momento de la depositación. Se encuentran en el área central de la cuenca (Figura 153).

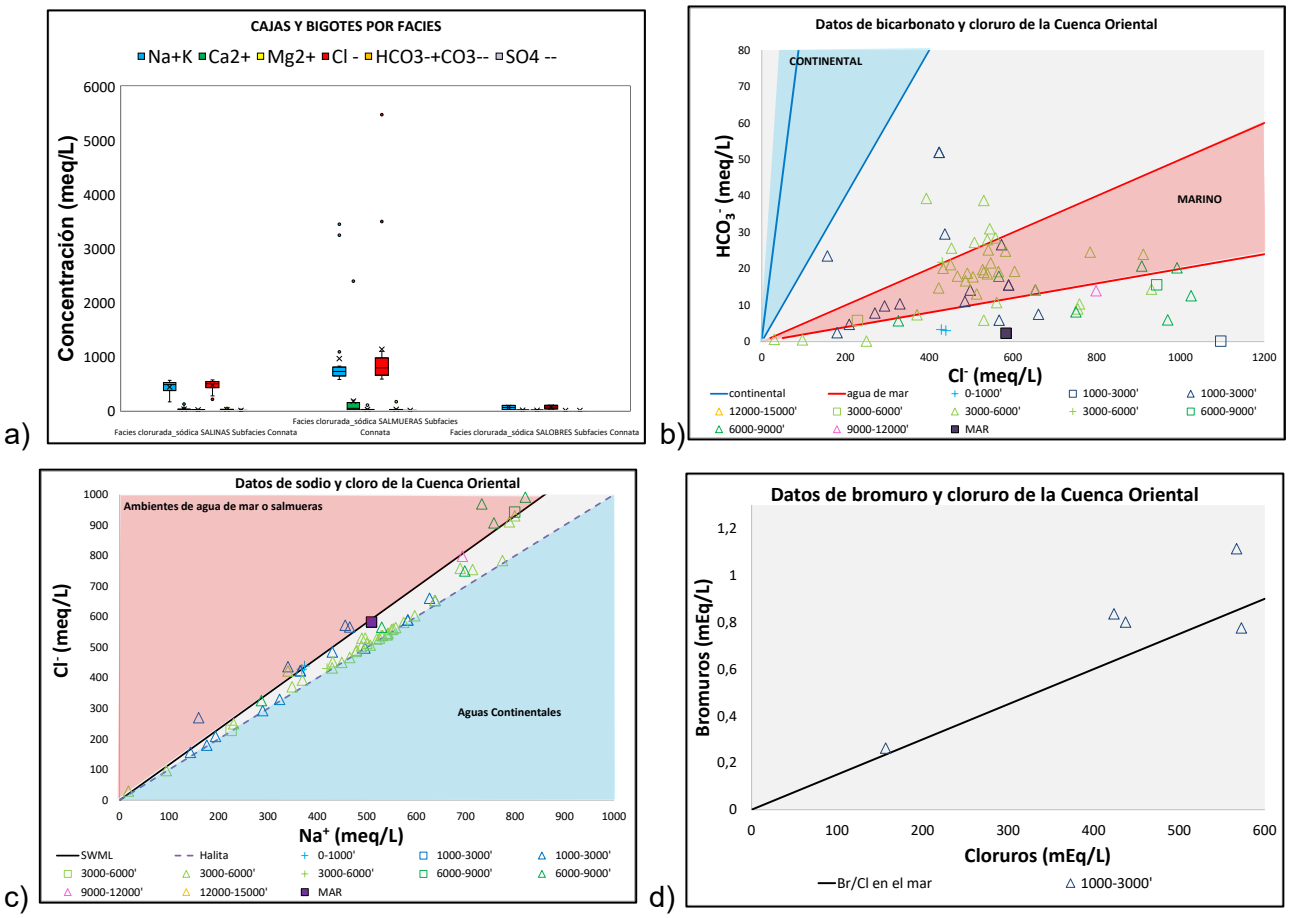


Figura 139. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies connatas en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. d) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bromuro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en los puntos de muestreo M-17 y M-85 (identificados en la Figura 140 con círculos amarillos). En estos registros se observan bajos valores de resistividad, que corresponden a lo descrito en la

litología y/o *gamma ray* como posibles cuerpos de arena. En esta subfacies indiferente de la cantidad de sólidos disueltos la respuesta se mantiene en una posible línea base del registro.

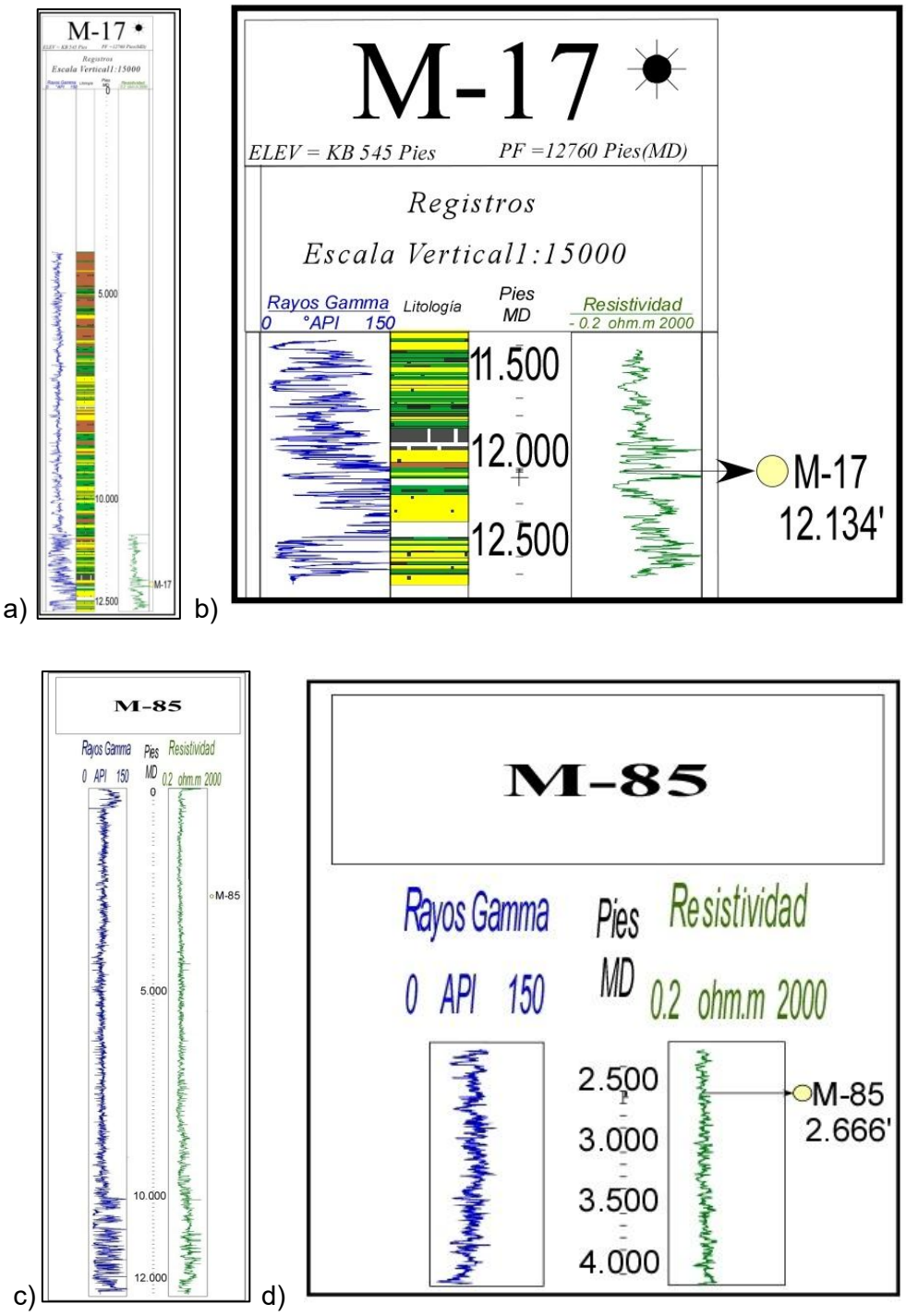


Figura 140. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica en la subfacies connata de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-17 (salmuera). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-17 (salmuera). c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-85 (salina). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-85 (salina).

Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como connatas diluidas

En esta subfacies ya pareciera existir un proceso de mezcla con aguas de composiciones diferentes donde la clasificación de Sulin (1946) varía: sesenta (60) muestras connatas y veintitrés (23) muestras meteóricas, indicativo de un segundo aporte de sodio a la muestra (Figura 89). Para estas muestras, el patrón de Stiff (1951) en la Figura 92e es un embudo bien definido, clasificándose en el lado derecho central del rombo de las aguas clorurada sódico-potásica o sulfato sódica según Piper (1944) en la Figura 153 (polígono rojo).

De acuerdo con el análisis de iones mayoritarios estas muestras son predominantemente connatas diluidas, se encuentran entre la línea de agua de mar y precipitación de halita en el gráfico de sodio en relación con cloro y se evidencia una correlación de los cationes magnesio y calcio con el cloruro (Figura 141).

La subfacies está compuesta por ochenta y tres (83) de las muestras analizadas, presentes en los intervalos más profundos que 1.000 pies (~300 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDII, UDIV y UDVIII. Veinticinco (25) son salobres (SDT: 1.000–10.000 mg/L), treinta y cinco (35) son salinas (10.000–35.000 mg/L) y veintitrés (23) son salmueras (>35.000 mg/L). Los procesos hidrogeoquímicos que ocurren en esta subfacies podrían incluir un proceso de mezcla entre aguas dulces y aguas connatas o con otras aguas de formación. Se encuentran en toda la cuenca; con una ubicación preferencial a la izquierda del corrimiento de Pirital y hacia el área central de la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías" (Figura 153).

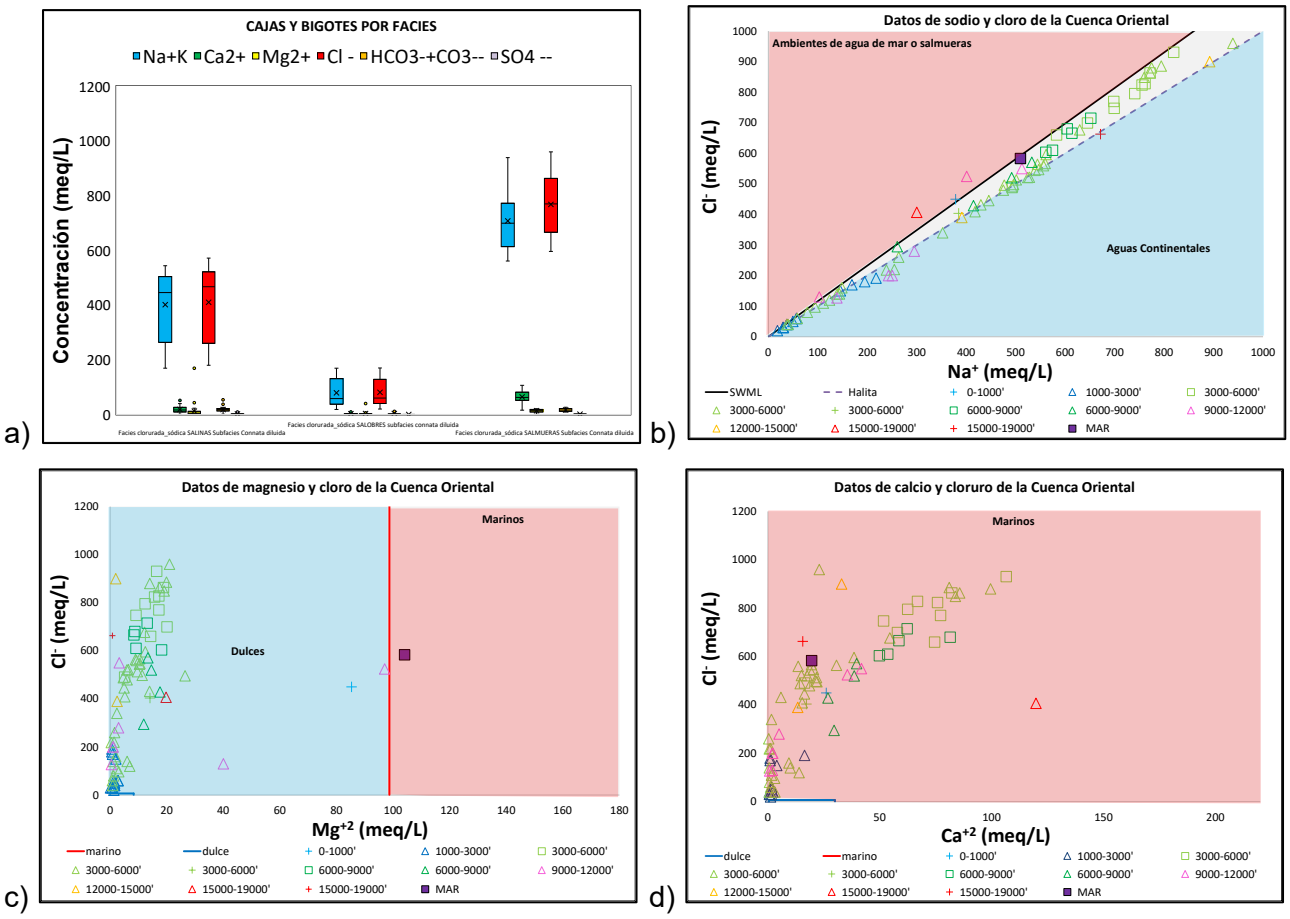


Figura 141. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies connatas diluidas en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. c) Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a cloruro. d) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray*, potencial espontáneo y resistividad en los puntos de muestreo M-69 y M-81 (identificados en la Figura 142 con círculos amarillos). En estos registros se observan bajos valores de resistividad, indiferente de la cantidad de sólidos disueltos totales, formando parte de lo que sería una línea base para el intervalo.

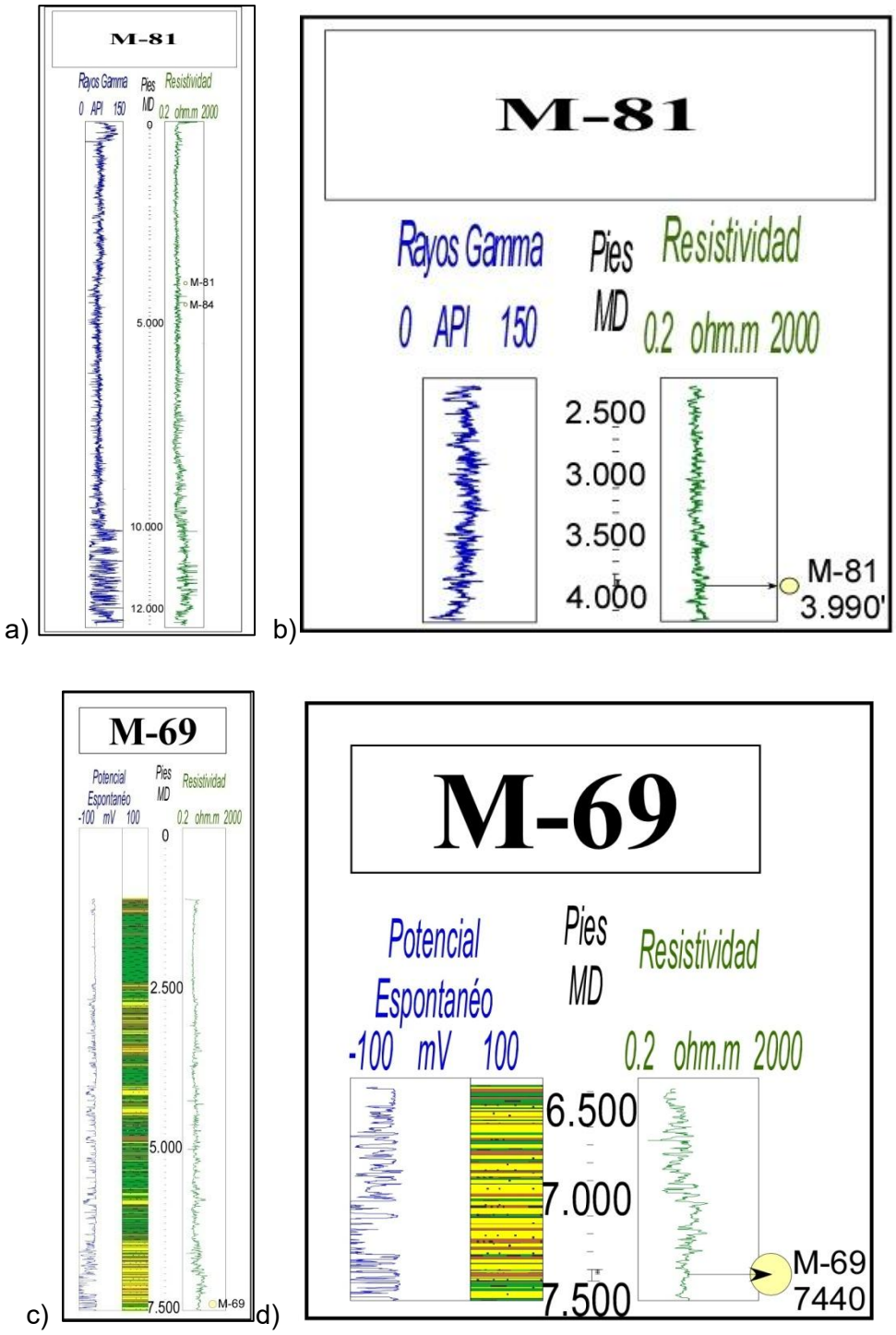


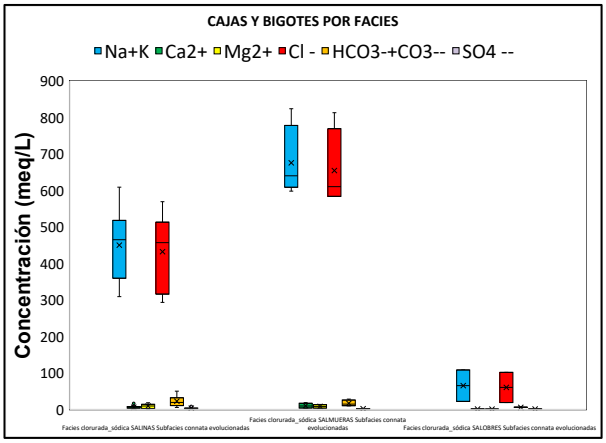
Figura 142. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica en la subfacies connata diluida de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-81 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-81 (salobre). c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-69 (salina). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-69 (salina).

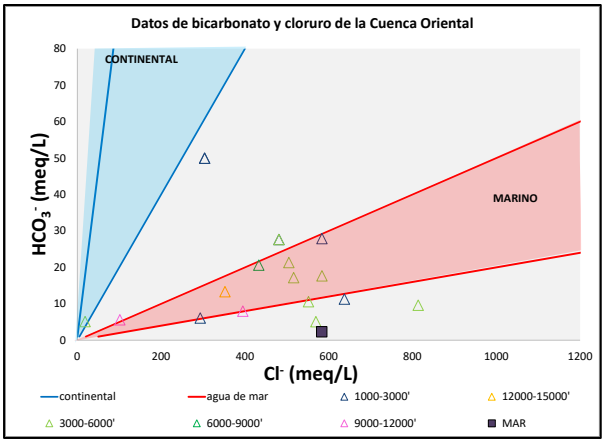
Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como connatas evolucionadas

Identificadas como aguas meteóricas de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946) (Figura 89). Para estas muestras, el patrón de Stiff (1951) en la Figura 92e es un embudo bien definido, clasificándose en el lado derecho del rombo de las aguas clorurada sódico-potásica o sulfato sódica según Piper (1944) en la Figura 153 (polígono salmón).

De acuerdo con el análisis de iones mayoritarios estas muestras son predominantemente connatas-cloruradas sódicas, ubicadas en o alrededor del recuadro de aguas de origen marino en los gráficos de sodio cloruro y bicarbonato cloruro. Además, existe una aparente correlación del bicarbonato con los iones calcio y magnesio (Figura 143). Y en cinco casos puntuales la posibilidad de existencia de dilución de dolomía. Por último, la composición isotópica de la muestra M-674, la ubica entre la línea meteórica local y la línea de mezcla entre agua de mar y agua meteórica.

La subfacies está compuesta por dieciocho (18) de las muestras analizadas, presentes en los intervalos desde 1.000 a 15.000 pies (~300 a 5.000 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDIV. Dos (02) son salobres (SDT: 1.000 - 10.000 mg/L), doce (12) son salinas (10.000 - 35.000 mg/L) y cuatro (04) son salmueras (>35.000 mg/L). Esta subfacies podría relacionarse con aguas de formación descritas como aquellas que se encuentran en la roca al momento de la depositación, quizás en un ambiente de depositación transicional o por un proceso de mezcla entre agua de formación y agua dulce. Se encuentran hacia la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías" (Figura 153).

a) 

b) 

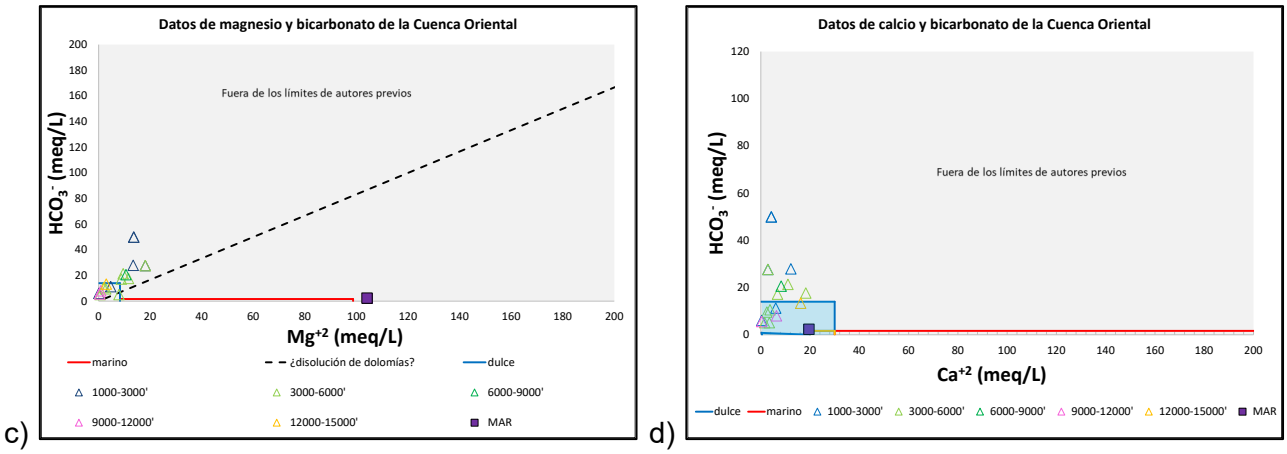


Figura 143. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies connatas evolucionadas en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a bicarbonato. d) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bromuro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de potencial espontáneo y resistividad en el punto de muestreo M-24 (identificado en la Figura 144 con círculo amarillo). La muestra se encuentra en un intervalo de alta resistividad. A pesar de que no se visualiza una respuesta clara por la presencia del fluido; no se descarta.

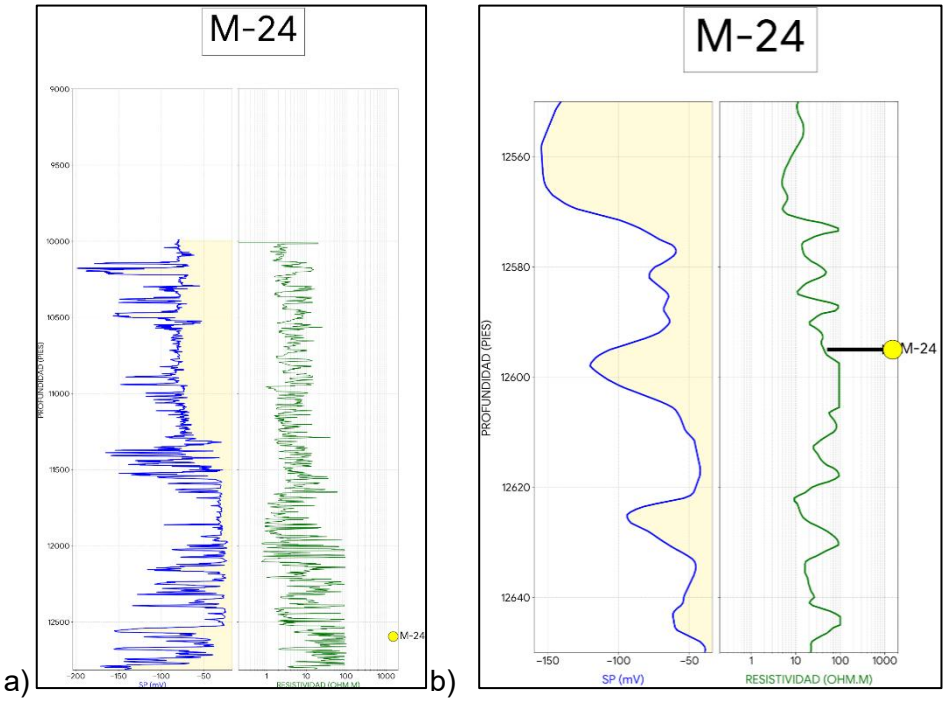


Figura 144. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica en la subfacies connata evolucionada de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-24 (salina). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-24 (salina).

Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como mezcla

Cuarenta y cuatro (44) de las muestras identificadas como aguas connatas y setenta y tres (73) muestras como aguas meteóricas de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946) (Figura 89). Para estas muestras, el patrón de Stiff (1951) en la en la Figura 92e es un embudo bien definido, clasificándose en la sección media inferior del rombo de las aguas clorurada sódico-potásica o sulfato sódica según Piper (1944) en la Figura 153 (polígono verde oliva).

De acuerdo con el análisis de iones mayoritarios estas muestras son predominantemente dulces a connatas o mezcla clorurada sódicas, ubicadas mayoritariamente en el área intermedia entre las aguas de origen continental y las de origen marino en los gráficos de sodio cloruro y de bicarbonato y cloruro (Figura 145).

La subfacies está compuesta por ciento doce (117) de las muestras analizadas, presentes en todos los intervalos de 0 a 19.000 pies (~0 a 6.500 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDII, UDIV y UDVIII. Catorce (14) son salobres (SDT: 1.000 - 10.000 mg/L), noventa y cinco (95) son salinas (10.000 - 35.000 mg/L) y ocho (08) son salmueras (>35.000 mg/L). Esta subfacies es el resultado de un proceso hidrogeoquímico de mezcla entre aguas de origen dulce y aguas de formación connatas. Se encuentra en toda la cuenca, pero preferencialmente hacia el área sureste (Figura 153).

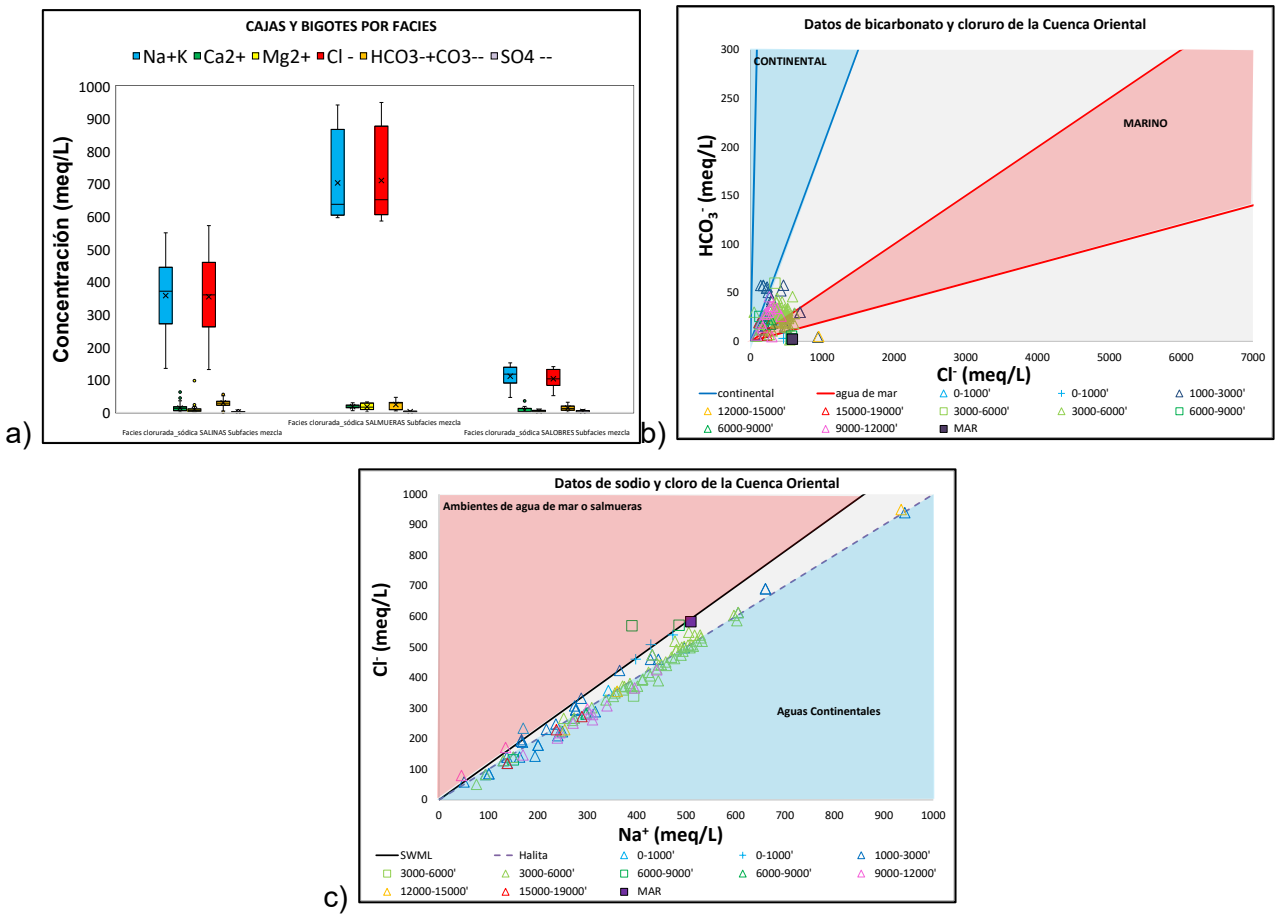


Figura 145. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies mezcla en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en los puntos de muestreo M-80 y M-636 (identificados en la Figura 146 con círculos amarillos). En estos registros se observan bajos valores de resistividad, que corresponden a lo descrito en la litología y/o *gamma ray* como posibles cuerpos de arena y que no parecen estar afectados por el tipo de agua en la formación. Adicionalmente, no se observa diferencia por el contenido de sólidos disueltos.

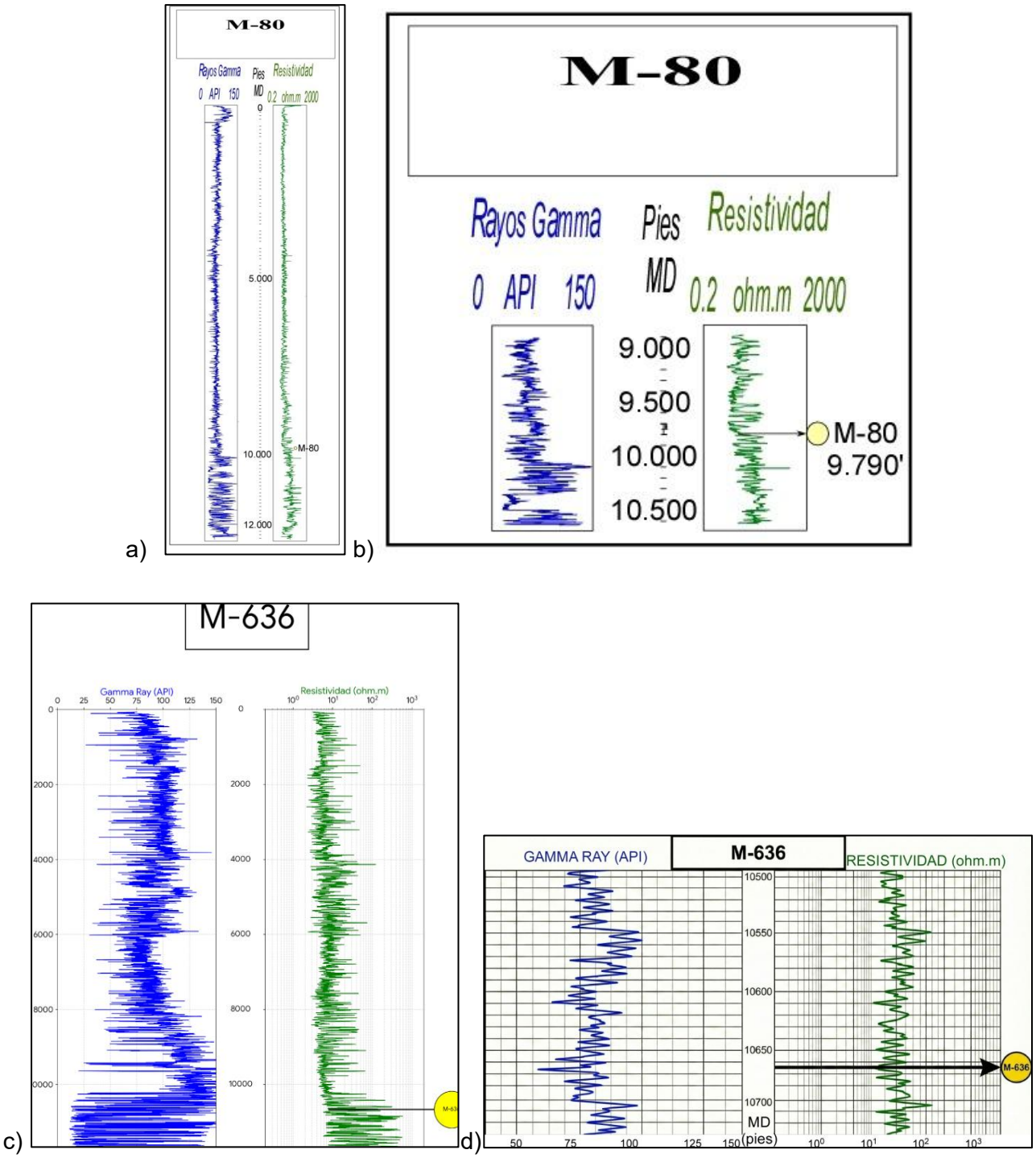


Figura 146. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica en la subfacies mezcla de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-80 (salina). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-80 (salina). c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-636 (salobre). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-636 (salobre).

Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como connatas muy diluidas

Dos (02) de las muestras identificadas como aguas connatas y treinta y cinco (35) muestras como aguas meteóricas de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946) (Figura 89). Para estas muestras, el patrón de Stiff (1951) en la Figura 92e es un embudo, clasificándose en el lado derecho inferior del rombo de las aguas clorurada sódico-potásica o sulfato sódica según Piper (1944) en la Figura 153 (polígono naranja claro).

De acuerdo con el análisis de iones mayoritarios estas muestras son connatas muy diluidas-cloruradas sódicas, donde la concentración de bicarbonato comienza a resaltar respecto a los iones principales. Están ubicadas por debajo de la curva de precipitación de halita para el gráfico de sodio en relación con cloruro y en los recuadros de aguas marinas y continentales para el gráfico de cloruro y bicarbonato. Además, en el gráfico de cloruro en relación con bromuros se encuentran alrededor o muy cercanas a la curva de agua de mar (Figura 147). Por último, en esta subfacies existen cuatro muestras con análisis isotópicos cuyos resultados los ubican entre la línea meteórica local y la línea de mezcla entre agua de mar y agua meteórica o en aguas enriquecidas en deuterio, donde pueden estar ocurriendo procesos de mezclas con hidrocarburos o de precipitación de cementos de calcita.

La subfacies está compuesta por treinta y siete (37) de las muestras analizadas, presentes en los intervalos más profundos que 1000 pies (~300 metros) hasta 15.000 pies (~5.000 m), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDIV. Once (11) son salobres (SDT: 1.000 - 10.000 mg/L) y veintiséis (26) son salinas (10.000 - 35.000 mg/L). Esta subfacies ya podría interpretarse como el resultado de un proceso de mezcla en el área donde los iones sodio y cloruro siguen siendo mayoritarios. Existen agrupaciones en las muestras en áreas específicas como al sureste y a largo de la Falla de Anaco; sin embargo, se encuentran a lo largo de la cuenca (Figura 153).

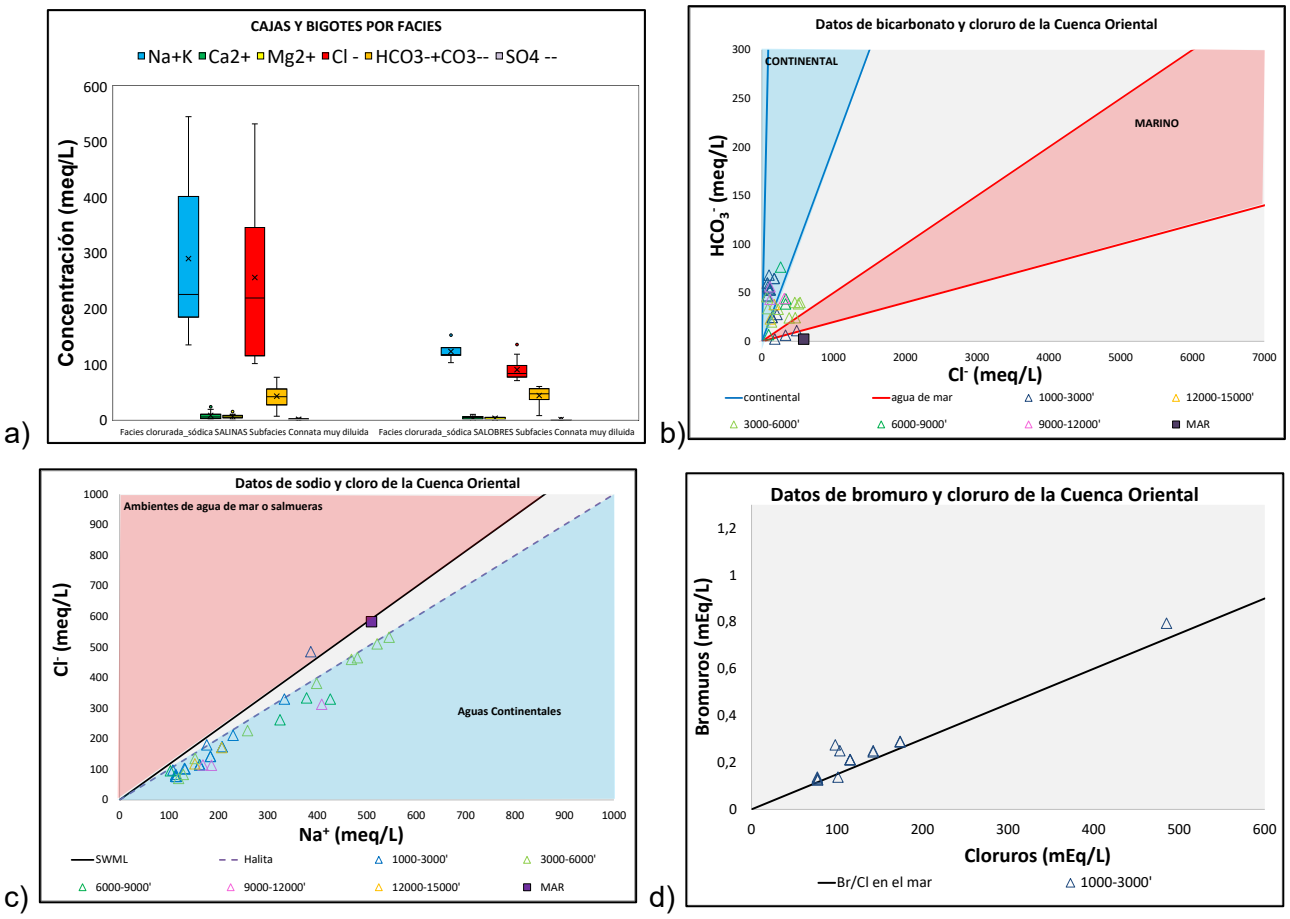


Figura 147. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies connatas muy diluidas en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. d) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bromuro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en el punto de muestreo M-746 (identificado en la Figura 148 con círculo amarillo). En estos registros se observan bajos valores de resistividad, por lo cual la facies no parece alterar la respuesta en el registro eléctrico del pozo.

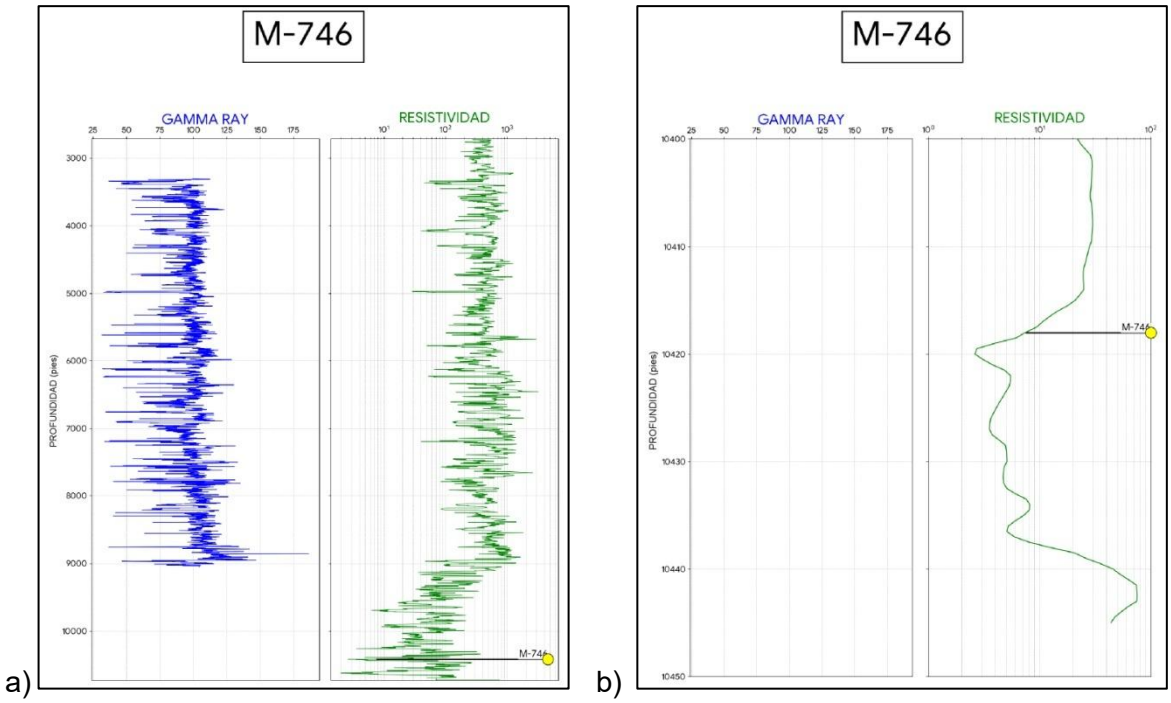


Figura 148. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica en la subfacies connata muy diluida de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-746 (salina). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-746 (salina)

Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como de intercambio iónico

Identificadas como aguas meteóricas de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946) (Figura 89). Para estas muestras, el patrón de Stiff (1951) en la en la Figura 92e es un embudo, clasificándose mayoritariamente en el lado derecho inferior del rombo de las aguas clorurada sódico-potásica o sulfato y dos muestras en el rombo de aguas bicarbonatadas sódicas y potásicas según Piper (1944) en la Figura 153 (polígono naranja).

De acuerdo con el análisis de iones mayoritarios estas muestras son predominantemente dulces, ubicadas de igual forma por debajo de la línea de precipitación de halita en el gráfico de sodio en relación con cloro y con una clara relación del sodio con el bicarbonato en el gráfico de sodio alcalino en relación con bicarbonato. Adicionalmente en el gráfico de bicarbonato y cloruro se encuentran en el recuadro de aguas continentales (Figura 149). En particular, la muestra M-166 presenta una temperatura superior a la esperada en superficie.

La subfacies está compuesta por sesenta y tres (63) de las muestras analizadas, presentes en todos los intervalos de 0 a 19.000 pies (~0 a 6500 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDII, UDIV y UDVIII. Treinta y ocho (38) son salobres (SDT: 1.000–10.000 mg/L), veinticuatro (24) son salinas (10.000–35.000 mg/L) y una (01) es salmuera (>35.000 mg/L). En esta subfacies se presume un proceso de mezcla importante, entre las aguas dulces y aguas connatas,

un proceso de intercambio iónico con el medio que modifica la composición original. Se encuentran distribuidas a lo largo de la cuenca con una preferencia al este de la Falla de Anaco hasta el Río Orinoco (Figura 153).

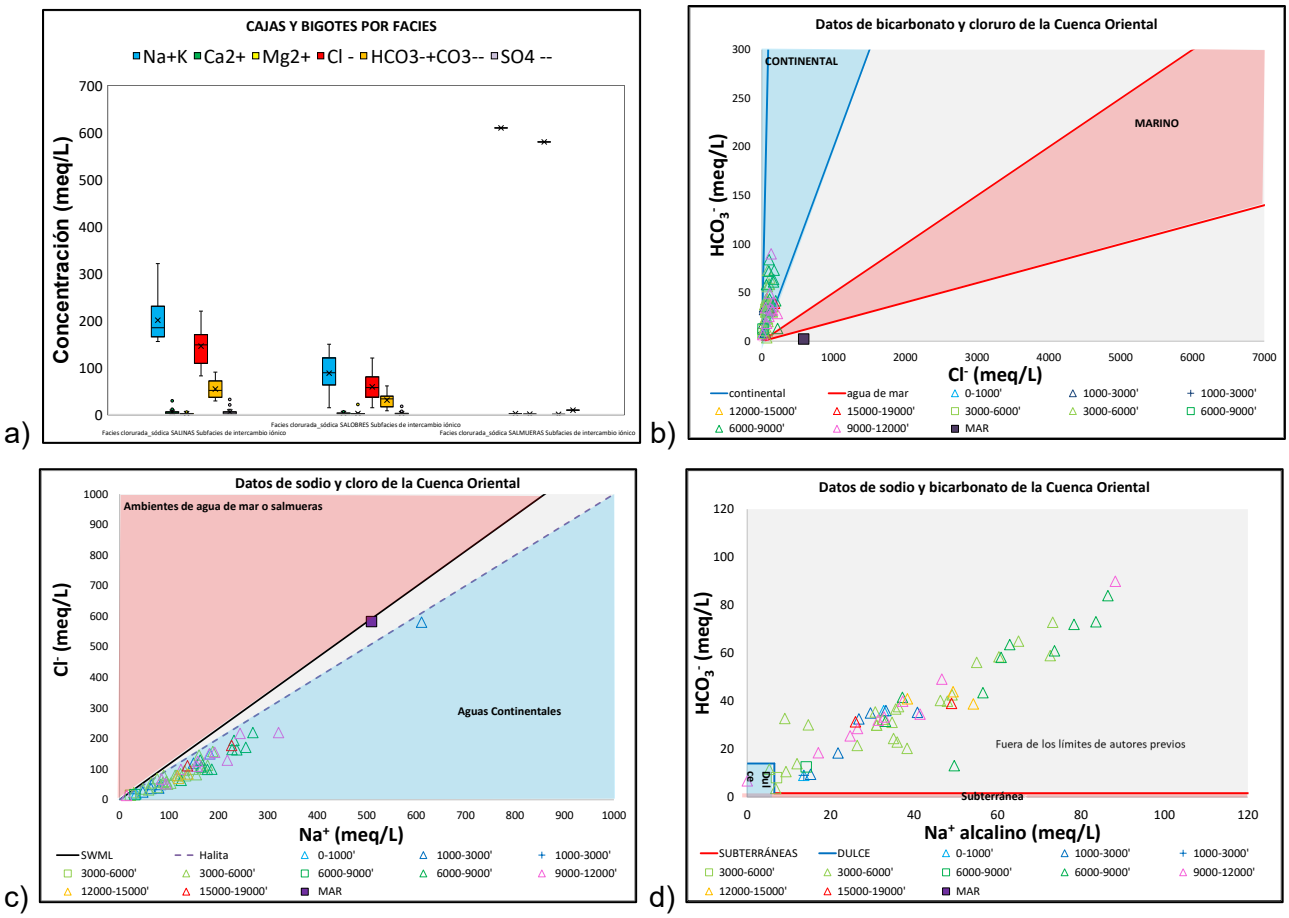


Figura 149. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies de intercambio iónico en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. d) Gráfico de concentraciones de sodio alcalino con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en los puntos de muestreo M-113 y M-916 (identificados en la Figura 150 con círculos amarillos). En estos registros se observan bajos valores de resistividad, que corresponden a lo descrito en la litología y/o *gamma ray* como posibles cuerpos de arena, no se observa una correlación con la presencia de la facies para la muestra M-113. Por otra parte, en la muestra M-916 existe un cambio en el registro que pudiera ser una respuesta de un cambio litológico o de secuencia o de la influencia de la facies en el área. En esta subfacies si difiere la respuesta en relación con la cantidad de sólidos disueltos.

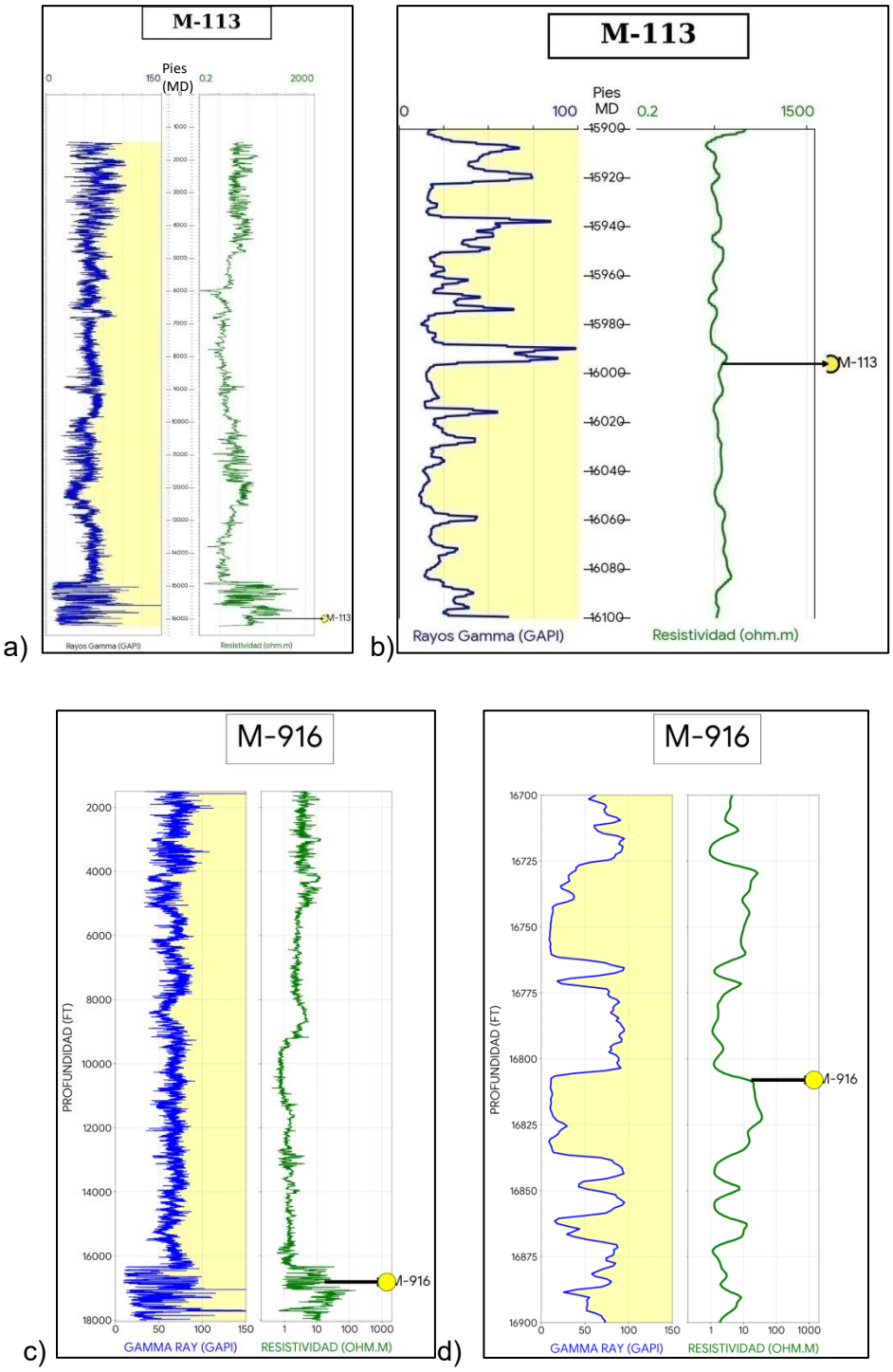


Figura 150. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica en la subfacies de intercambio iónico de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-113 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-113 (salobre). c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-916 (salina). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-916 (salina).

Subfacies de aguas cloruradas sódicas clasificadas como connatas muy diluidas con SDT bajo

Cinco (05) de las muestras identificadas como aguas connatas y once (11) muestras como aguas meteóricas de acuerdo con la clasificación de Sulin (1946) (Figura 89). Para estas muestras, el patrón de Stiff (1951) en la en la Figura 92F es un embudo diluido, clasificándose en la zona central del rombo de las aguas clorurada sódico-potásica o sulfato sódica según Piper (1944) en la Figura 153 (polígono verde claro).

De acuerdo con el análisis de iones mayoritarios estas muestras son predominantemente connatas muy diluidas, mezcla a dulce-cloruradas sódicas, ubicadas en el recuadro de aguas subterráneas y dulces para el gráfico de sodio en relación con bicarbonato y los rangos de concentración en el diagrama de cajas y bigotes muestra valores menores a 12 meq/L y calcio y bicarbonato como elementos secundarios (Figura 151). En dos de las muestras ubicadas en el intervalo de 0 a 1000 pies la temperatura es superior a la esperada y en una de ellas coincide con una concentración de sílice elevada. Por último, la composición isotópica de la muestra M-571, la ubica entre la línea meteórica local y la línea de mezcla entre agua de mar y agua meteórica.

La subfacies está compuesta por dieciséis (16) de las muestras analizadas, presentes en los intervalos de 0 a 6.000 pies y de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros) y de 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.000 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDII, UDIV y UDVIII. Las concentraciones de SDT no son superiores a 1.000 mg/L y por tanto clasificadas como agua dulce. Esta subfacies continúa el proceso de mezcla entre aguas connatas y aguas dulces, pero donde aún predominan los iones sodio y cloro. Las muestras pueden encontrarse hacia el sureste de la cuenca, en el oeste central y a la derecha de la Falla de Anaco (Figura 153).

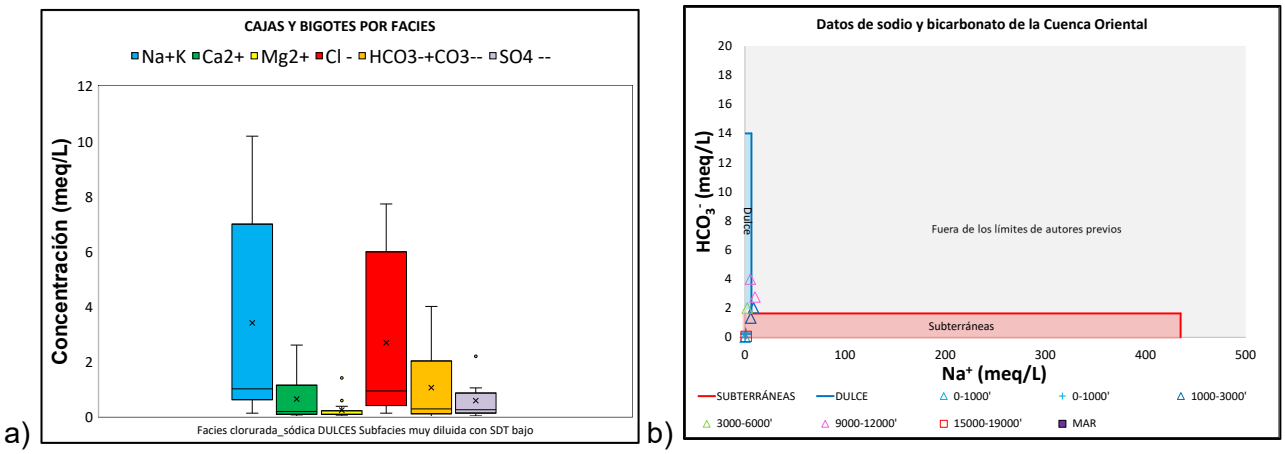
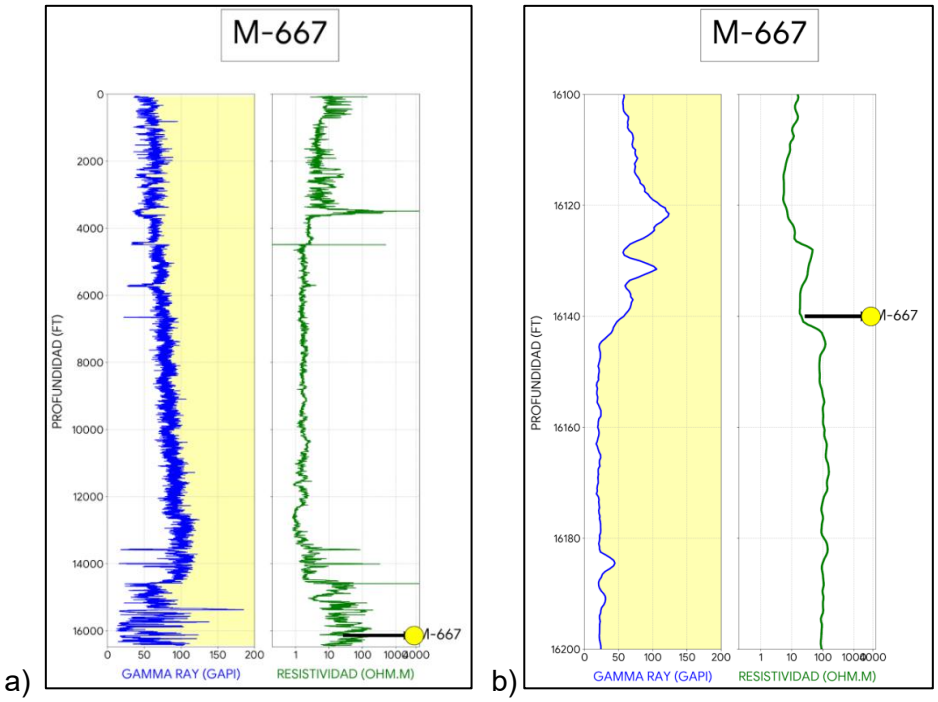


Figura 151. Caracterización de facies cloruradas sódica subfacies connatas muy diluidas con SDT bajo en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de

la caja). b) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en los puntos de muestreo M-667 y M-333 (identificado en la Figura 152 con círculo amarillo). En los registros de la muestra M-667 se observan altos valores de resistividad, que corresponden a lo descrito en la litología y/o *gamma ray* como posibles cuerpos de arena y que pudieran estar influenciados por la presencia de agua dulce. Mientras que en los registros de la muestra M-333 no se observa una variación representativa de los valores de resistividad.



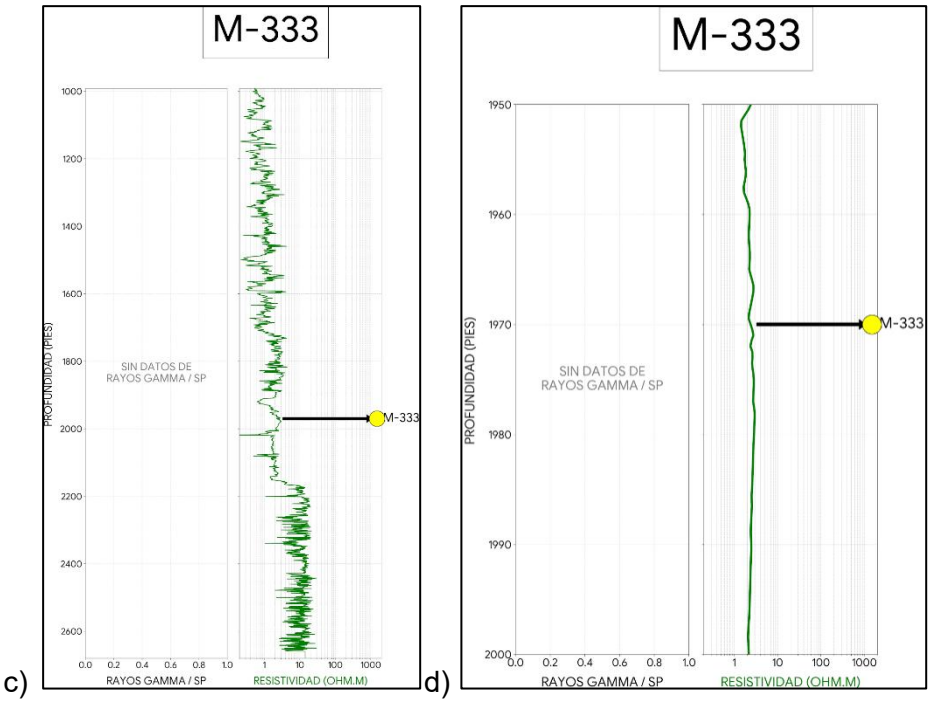


Figura 152. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada sódica en la subfacies connata de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-667 (dulce). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-667 (dulce). c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-333 (salina). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-333 (salina).

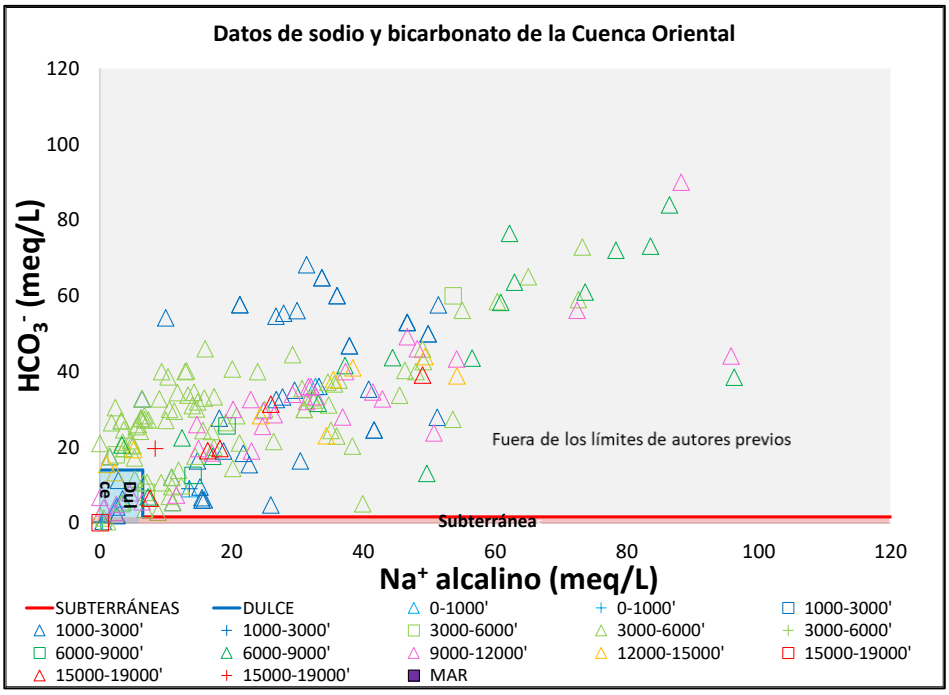
En resumen, como algunas de las características a destacar dentro de la facies clorurada sódica, mientras mayor es el porcentaje de mezcla en el Diagrama de Piper (1944) la posición en el rombo de aguas cloruradas sódicas se traslada hacia el rombo de aguas bicarbonatadas. Además, en el análisis de iones mayoritarios, estas facies muestran una correlación positiva en el diagrama de sodio en relación con bicarbonato, indicativo de un segundo aporte de sodio y muestras con un proceso de disolución de minerales carbonatados como dolomita para las subfacies connata, connatas diluidas, mezcla y mezcla con agua de mar (Figura 153).

No existe una separación indudable de las subfacies dentro de la cuenca; sin embargo, se puede señalar: una ubicación al norte de la subfacies de mezcla con agua de mar, una mezcla de agua hacia el noroeste, donde existen mayoritariamente las subfacies connatas y de mezcla; alrededor de la Falla de Anaco también se presenta un proceso de mezcla en distintas proporciones y una ligera correlación entre la salinidad de las muestras de las muestras con bajo SDT y las subfacies con mayor porcentaje de mezcla.

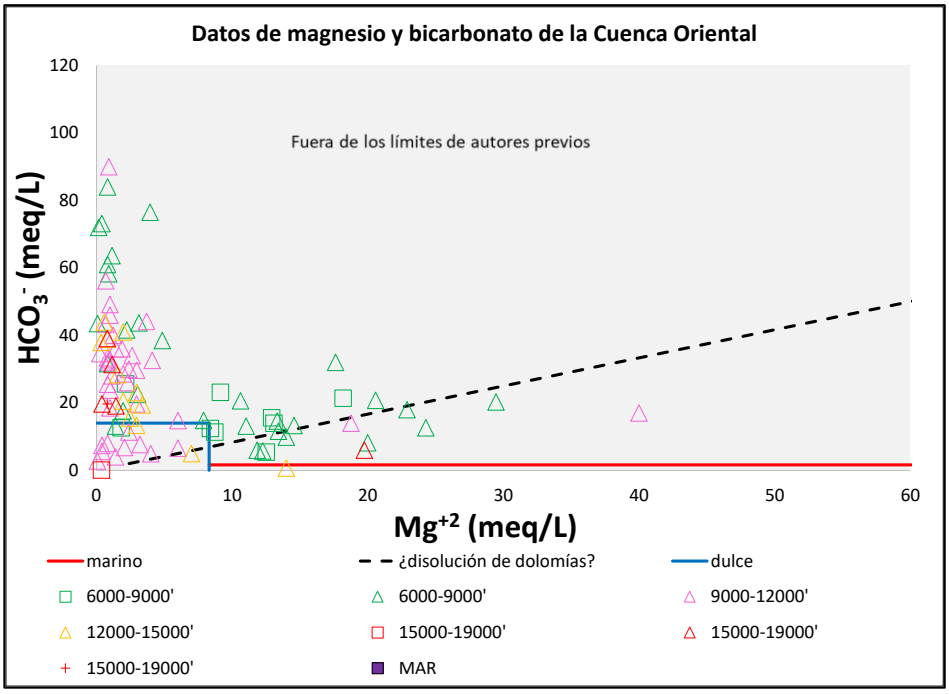
Finalmente, se identifica una tendencia generalizada hacia la somerización de estas facies en dirección sur. En concordancia con el modelo de (Angulo *et al*., 2016), se observa un decremento

progresivo en la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) hacia dicha latitud. Sin embargo, el sector oriental de la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías” presenta muestras con salinidades heterogéneas; este comportamiento podría asociarse a variaciones en la dirección del flujo o al almacenamiento de aguas de formación remanentes, lo que constituye una respuesta hidroquímica distintiva respecto al contexto regional.

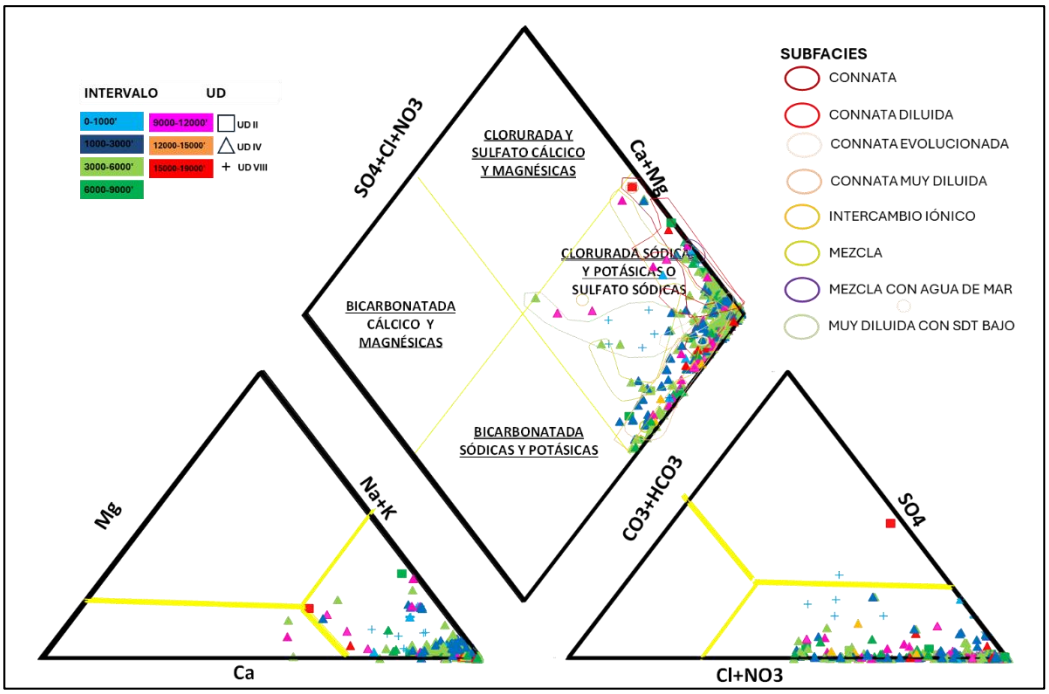
a



b



c



d

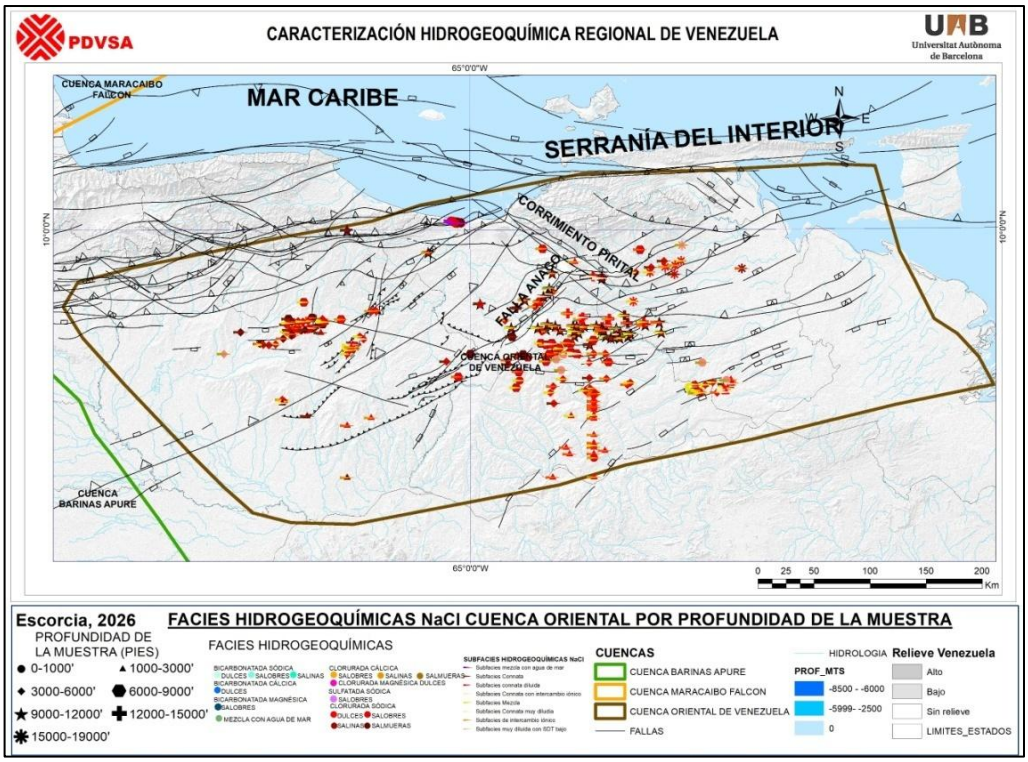


Figura 153. Caracterización de facies cloruradas sódicas en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico de concentraciones de sodio alcalino con relación a bicarbonato, b) Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a bicarbonato. c) Diagrama de (Piper, 1944) con polígonos de colores diferentes para cada subfacies. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. d) Mapa de ubicación de las muestras en esta facies con un símbolo diferente por intervalo de profundidad en la cual fue tomada.

VI. 3. 2 Facies de aguas bicarbonatada sódica

Las muestras con facies de aguas bicarbonatadas sódicas son aquellas donde estos iones tienen la composición mayoritaria, la clasificación de Sulin (1946) es de aguas meteóricas (Figura 89), bicarbonatadas sódicas en Schoeller (1977) en la Figura 90, la figura de Stiff (1951) característica de visto bueno en la Figura 92a. Sin embargo, gracias a los procesos hidrogeoquímicos, existen pocas muestras con una clasificación característica por lo cual se discretizaron cinco (05) subfacies con esta composición.

Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como meteóricas

De acuerdo con el análisis de iones mayoritarios estas muestras son agua dulce, ubicadas en el recuadro de aguas de origen continental en los gráficos de bicarbonato en relación con cloruro (Figura 154). La composición isotópica de la muestra M-993 se ubica sobre la Línea Meteórica Local. Algunas de las muestras indican de acuerdo con su composición de iones minoritarios, contenido de sílice elevada y temperatura superior a la esperada para el intervalo.

Las muestras se clasifican en el sector medio del rombo de las aguas bicarbonatada sódicas y potásica según Piper (1944) en la Figura 162 (polígono naranja claro) y tienen una cantidad de sólidos disueltos menor a 1000 mg/L, clasificadas como dulces.

La subfacies está compuesta por diez (10) de las muestras analizadas, tomadas preferencialmente en superficie con 1 análisis de cuidar entre 9.000 y 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), en reservorios mayoritariamente de la UDVIII. Esta subfacies se relaciona con lo que se denominan aguas de escorrentía con poco tiempo en superficie por lo que mantiene las propiedades del agua de lluvia. Se encuentran preferencialmente al este de la Falla de Anaco (Figura 162).

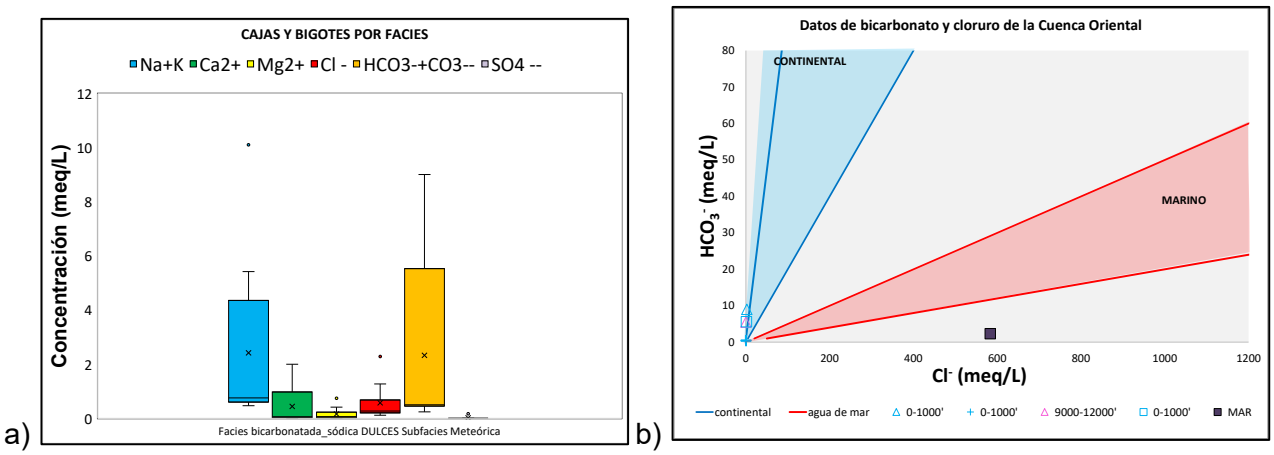


Figura 154. Caracterización de facies bicarbonatada sódica subfacies meteórica en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de

concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

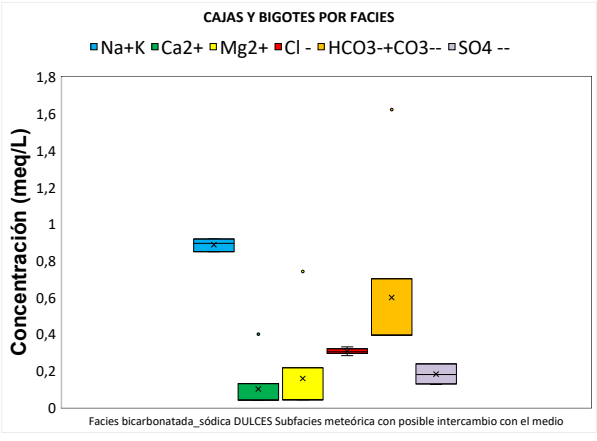
No se dispone de registros eléctricos de los puntos de muestreo; sin embargo, considerando que son mayoritariamente aguas con baja cantidad de sólidos disueltos; se esperaría un cambio de la lectura del registro de resistividad.

Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como meteóricas con intercambio iónico

De acuerdo con el análisis de iones mayoritarios estas muestras son agua dulce, en el límite de los recuadros de aguas dulces o subterráneas para el gráfico de sodio en relación con bicarbonato y con calcio como segundo catión predominante (Figura 155). La muestra M-706 indica de acuerdo con su composición de iones minoritarios, contenido de sílice elevado y temperatura superior a la esperada para el intervalo.

Las muestras se clasifican entre el sector derecho superior del rombo de las aguas bicarbonatada sódicas y potásica y el sector derecho inferior del rombo de aguas clorurada sódica y potásica o sulfato sódica según Piper (1944) en la Figura 162 (polígono ciruela) y tienen una cantidad de sólidos disueltos menor a 1000 mg/L, clasificadas como dulces.

La subfacies está compuesta por seis (06) de las muestras analizadas: 05 de las muestras fueron tomadas en superficie, en reservorios de formaciones geológicas equivalentes UDVIII y una muestra fue tomada entre 3.000 y 6.000 pies (1.000 a 2.000 m aproximadamente), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes UDIV. Esta subfacies se considera con un mayor tiempo de residencia en superficie que la subfacies meteórica, donde el intercambio iónico comienza a variar la composición de la muestra. Se encuentran en el sur centro de la cuenca cercana a varias fallas normales que pudieran funcionar como vías de migración (Figura 162).

a) 

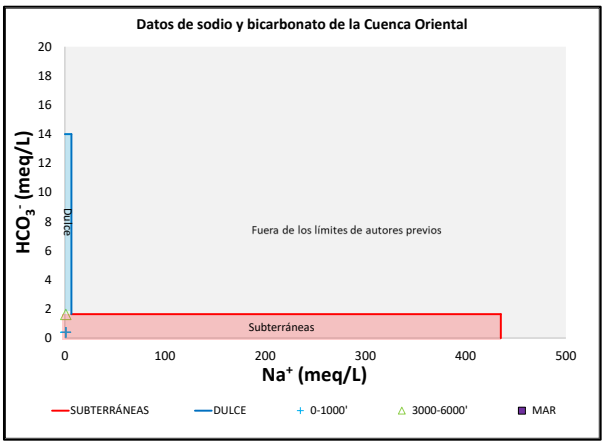
b) 

Figura 155. Caracterización de facies bicarbonatada sódica subfacies meteórica con intercambio iónico en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

No se dispone de registros eléctricos de los puntos de muestreo; ya que la mayoría de las muestras fueron tomadas en superficie, sin embargo, considerando que podría ser un agua de superficie que entra en contacto con las litologías cercanas de formación en un proceso de mezcla o intercambio con rocas carbonatadas, de baja cantidad de sólidos disueltos; se esperaría un cambio de la lectura del registro de resistividad.

Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como dulces con cantidad de sólidos disueltos de media a alta

Las muestras se clasifican entre el sector derecho del rombo de las aguas bicarbonatada sódicas y potásica según Piper (1944) en la Figura 162 (polígono naranja). En base a la cantidad de SDT, cincuenta y nueve de las muestras son salobres y cinco de ellas salinas.

De acuerdo con el análisis de iones mayoritarios estas muestras son agua dulce, con un segundo aporte mayoritario en varios casos, con iones de cloruro. Sin embargo, aún se encuentran en el recuadro de aguas continentales para los diagramas de sodio en relación con cloruros y el gráfico de cloruro en relación con bicarbonato (Figura 156). La composición isotópica de la muestra M-687 la sitúa en el área de aguas con intercambio iónico con las rocas circundantes y la de la muestra M-999 sobre la línea meteórica local.

La subfacies está compuesta por sesenta y cuatro (64) de las muestras analizadas, tomadas en profundidades hasta 12.000 pies (4.000 m aproximadamente), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDII, UDIV y UDVIII. Esta subfacies podría relacionarse con los procesos de mezcla, o con una mayor interacción roca agua, representado así en la composición isotópica de una de las muestras. Se encuentran en toda la subcuenca, particularmente en las muestras al oeste alineadas con los elementos estructurales en el área (Figura 162).

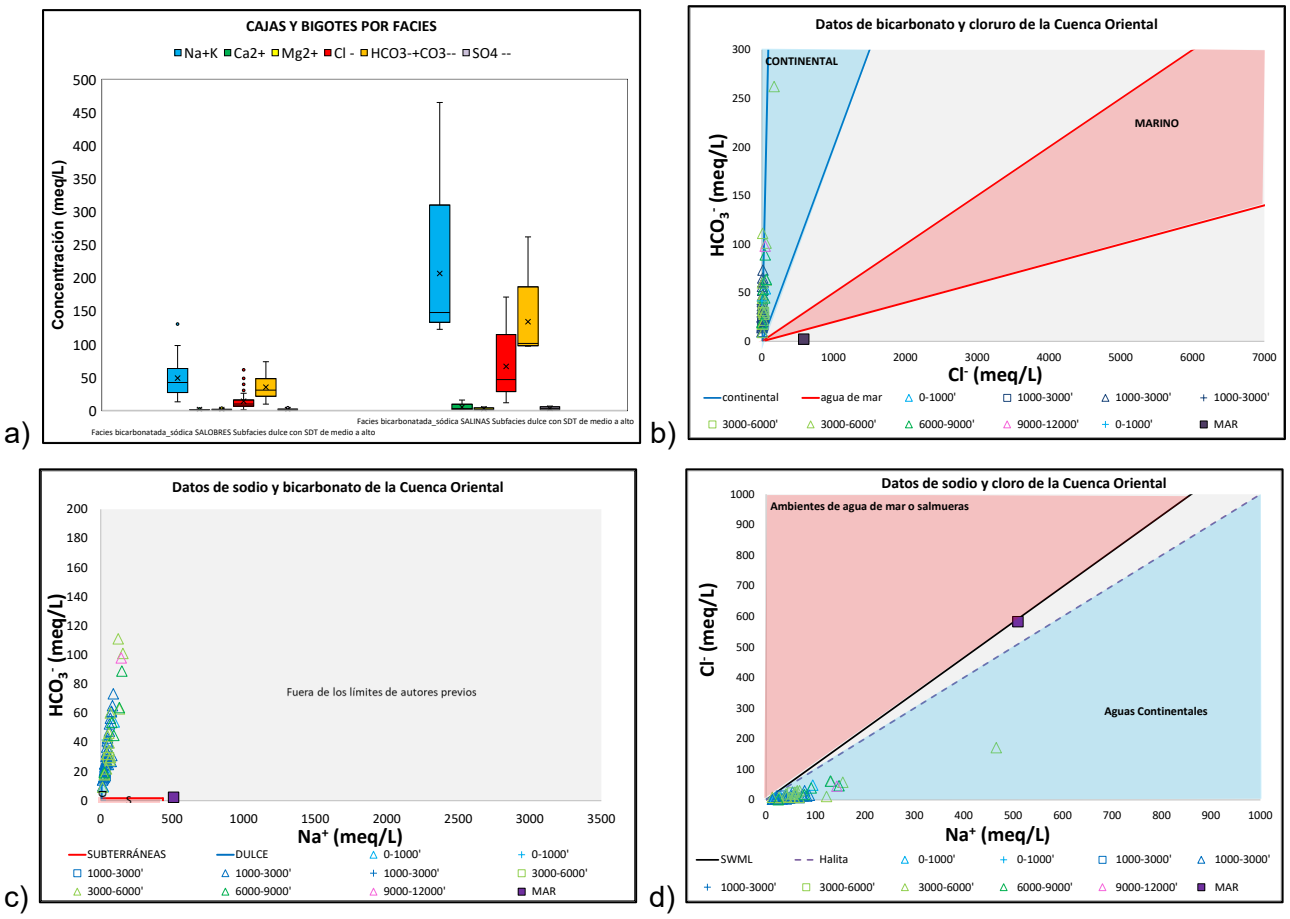


Figura 156. Caracterización de facies bicarbonatada sódica subfacies dulce con cantidad de sólidos disueltos de media a alta en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato, c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato. d) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en los puntos de muestreo M-66 y M-992 (identificados en la Figura 157 con círculos amarillos). En estos registros se observa una baja variación de los valores. Sin embargo, el intervalo donde se encuentra la muestra de agua posee valores de resistividad superiores a la línea base, que pudieran estar relacionados con el contenido de sólidos disueltos (~4.000 ppm) y por convertirse en falsos indicadores de la presencia de hidrocarburos.

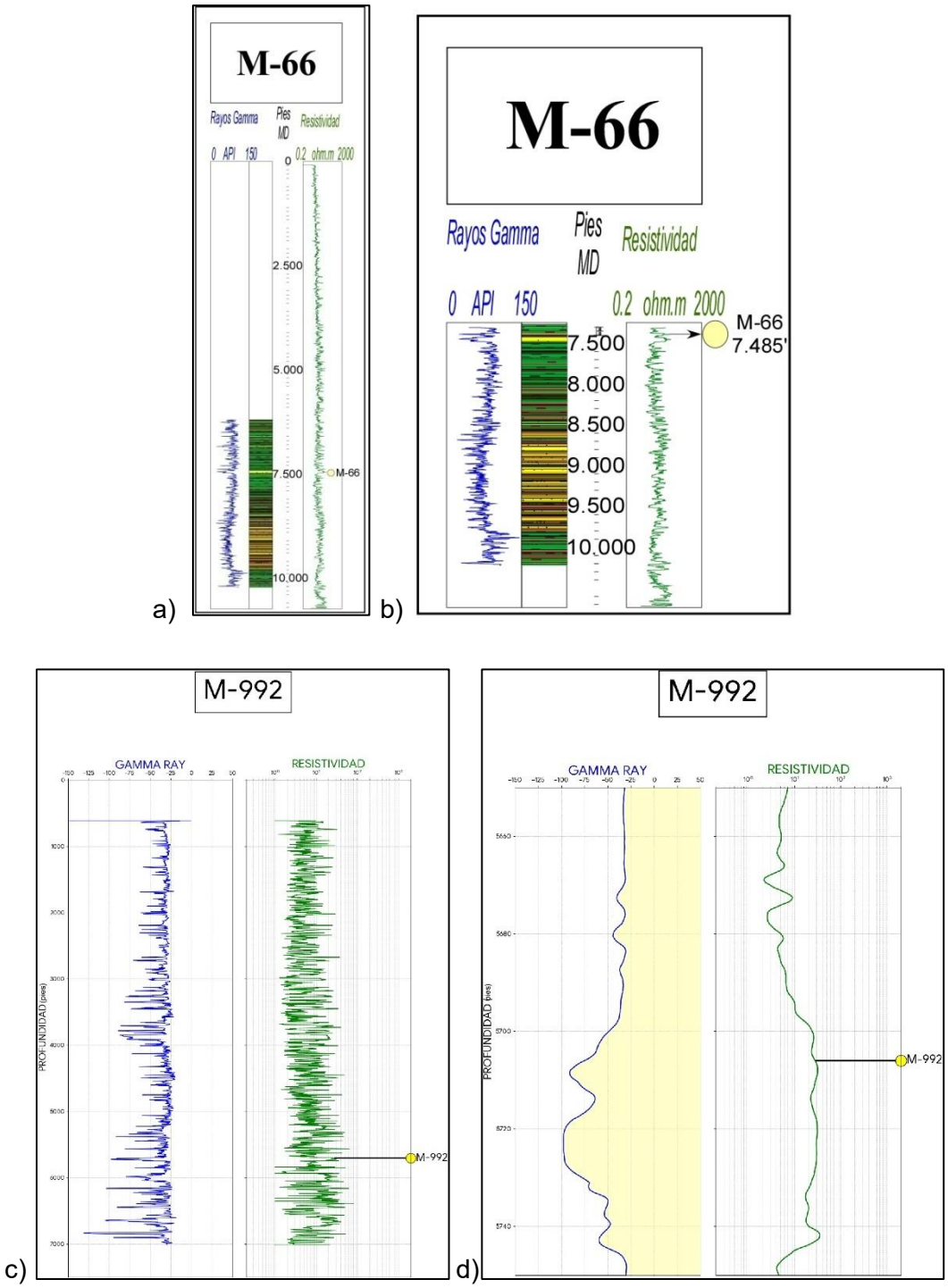


Figura 157. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada sódica en la subfacies dulce con SDT medio a alto de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-66 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-66 (salobre). c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-992 (salina). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-992 (salina).

Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como mezclas

Las muestras se clasifican mayoritariamente en el sector medio superior del rombo de las aguas bicarbonatada sódicas y potásica y dos de ellas en el sector derecho inferior del rombo de aguas

bicarbonatadas cálcicas y magnésica según Piper (1944) en la Figura 162 (polígono amarillo). En base a la cantidad de SDT, cuatro de las muestras son dulces y nueve de ellas salobres.

De acuerdo con el análisis de iones mayoritarios estas muestras son agua dulce a connata diluida o muy diluida, en el límite de los recuadros de aguas continentales para los gráficos de sodio en relación con cloruro y cloruro en relación con bicarbonato y en una correlación positiva para el gráfico de sodio en relación con bicarbonato (Figura 158).

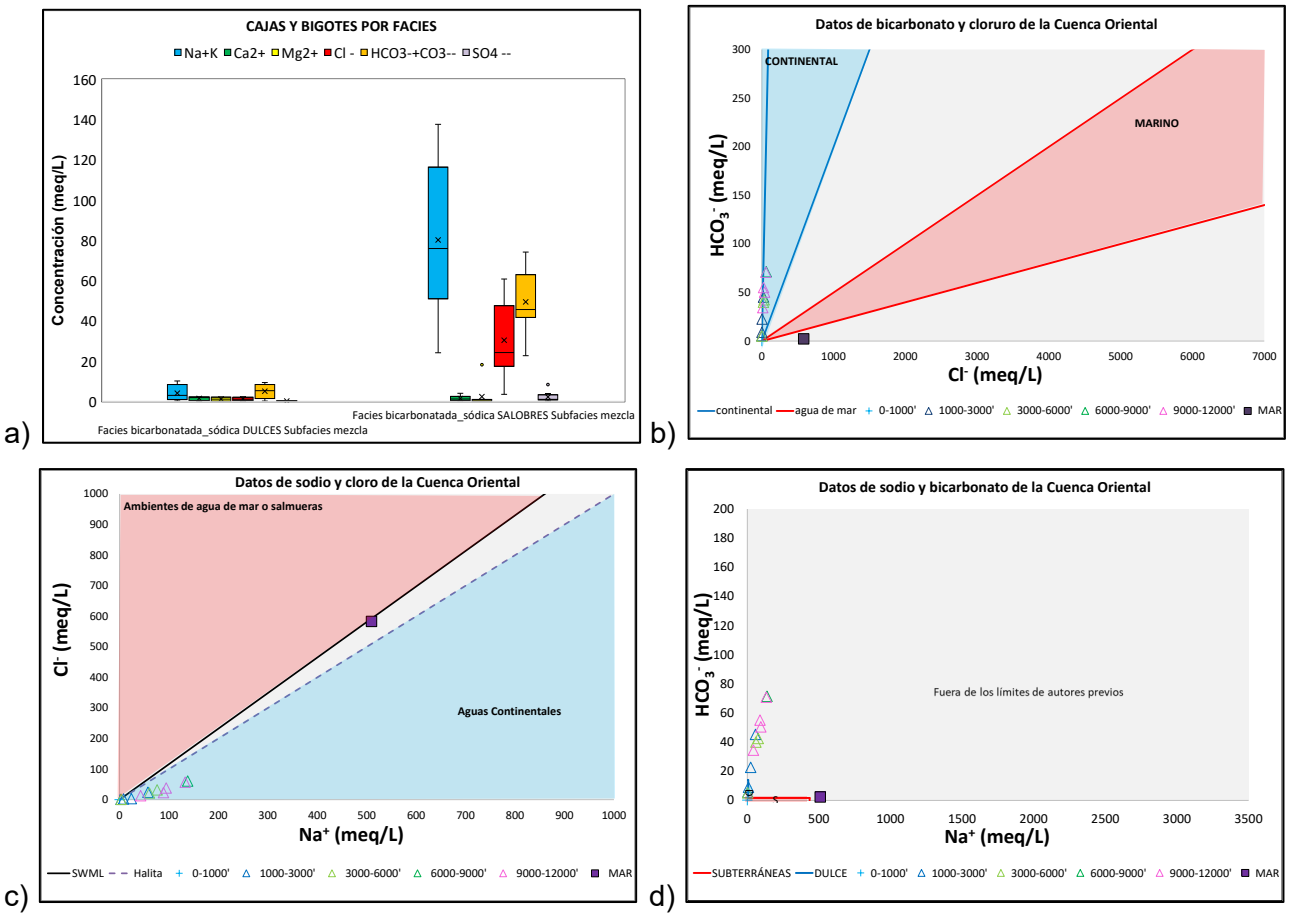


Figura 158. Caracterización de facies bicarbonatada sódica subfacies mezclas en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato. c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. d) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

La subfacies está compuesta por trece (13) de las muestras analizadas, tomadas en profundidades hasta 12.000 pies (5.000 m aproximadamente), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDIV (mayoritariamente) y UDVIII. Esta subfacies podría relacionarse también con

los procesos de mezcla entre aguas dulces y aguas de formación, o con una mayor interacción roca agua con rocas carbonatadas. Se encuentran al centro y oeste de la cuenca (Figura 162).

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en el punto de muestreo M-65 (identificado en la Figura 159 con círculo amarillo). En este registro se observan bajos valores de resistividad, que corresponden a lo descrito en la litología y/o *gamma ray* como posibles cuerpos de arena. En esta subfacies no se observa una diferencia entre los puntos donde la cantidad de sólidos disueltos varía.

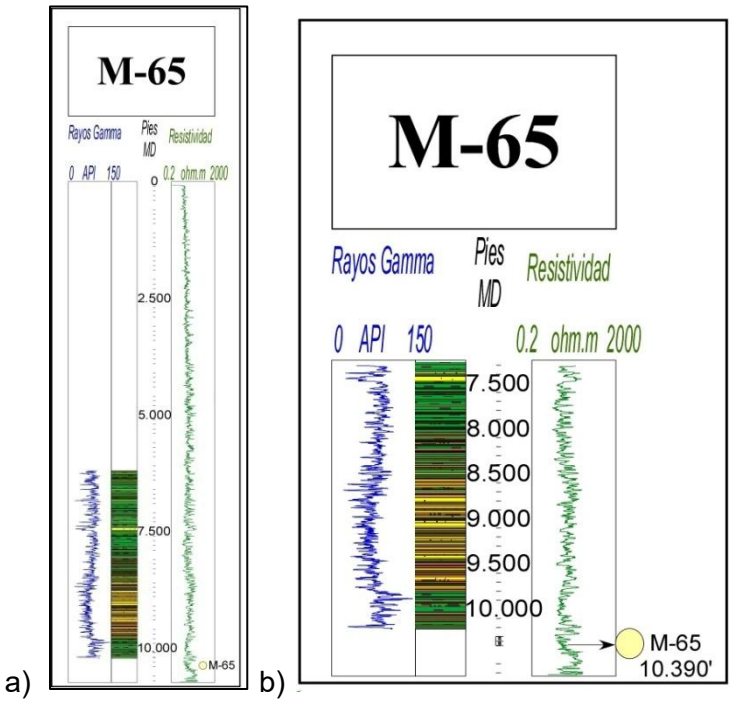


Figura 159. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la bicarbonatada sódica subfacies mezclas de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-65 (salobres). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-65 (salobres).

Subfacies de aguas bicarbonatadas sódicas clasificadas como mezcla con cantidad de sólidos disueltos media a alta

De acuerdo con el análisis de iones mayoritarios estas muestras son agua dulce, en el límite de los recuadros de aguas continentales para los gráficos de sodio en relación con cloruro y cloruro en relación con bicarbonato (Figura 160).

Las muestras se clasifican entre el sector inferior del rombo de las aguas clorurada sódica y potásica según Piper (1944) en la Figura 162 (polígono rojo) y tienen una cantidad de sólidos disueltos entre 1.000 y 10.000 mg/L, clasificadas como salobres.

La subfacies está compuesta por cuatro (04) de las muestras analizadas, unas en el rango de 1.000 a 6000 pies (~300 a 2.000 metros) y otra entre 9.000 y 12.000 pies (~300 a 4.000 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDIV. Esta subfacies se supone en un proceso de mezcla entre aguas dulces y aguas de formación con un porcentaje que mantiene la composición bicarbonatada sódica. Se encuentran en el área centro de la cuenca; sin ninguna orientación preferencial (Figura 162).

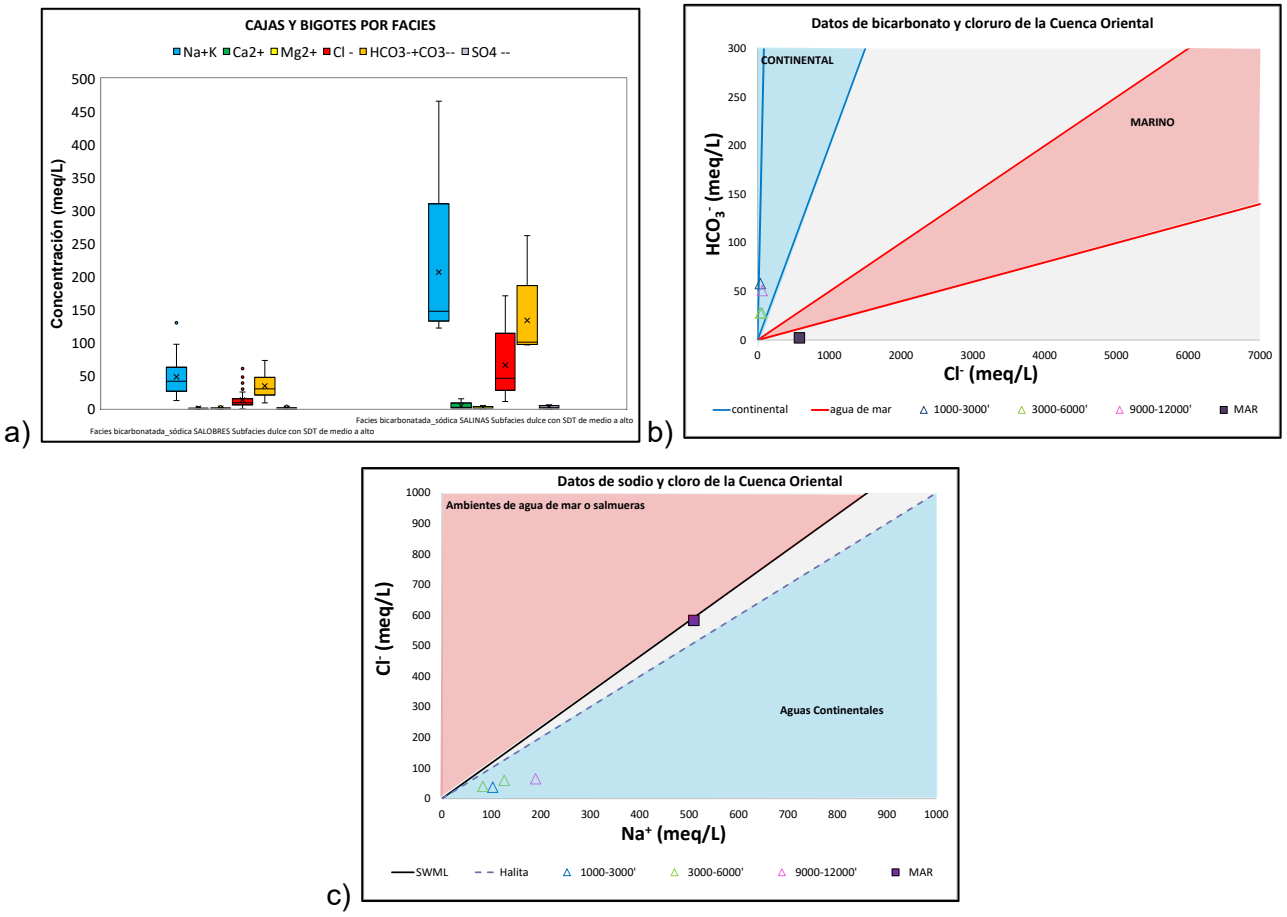


Figura 160. Caracterización de facies bicarbonatada sódica subfacies mezcla con cantidad de sólidos disueltos media a alta en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a bicarbonato c) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en el punto de muestreo M-940 (identificado en la Figura 161con círculo amarillo). En estos registros se observan que los valores de resistividad no se ven afectados por la presencia del fluido.

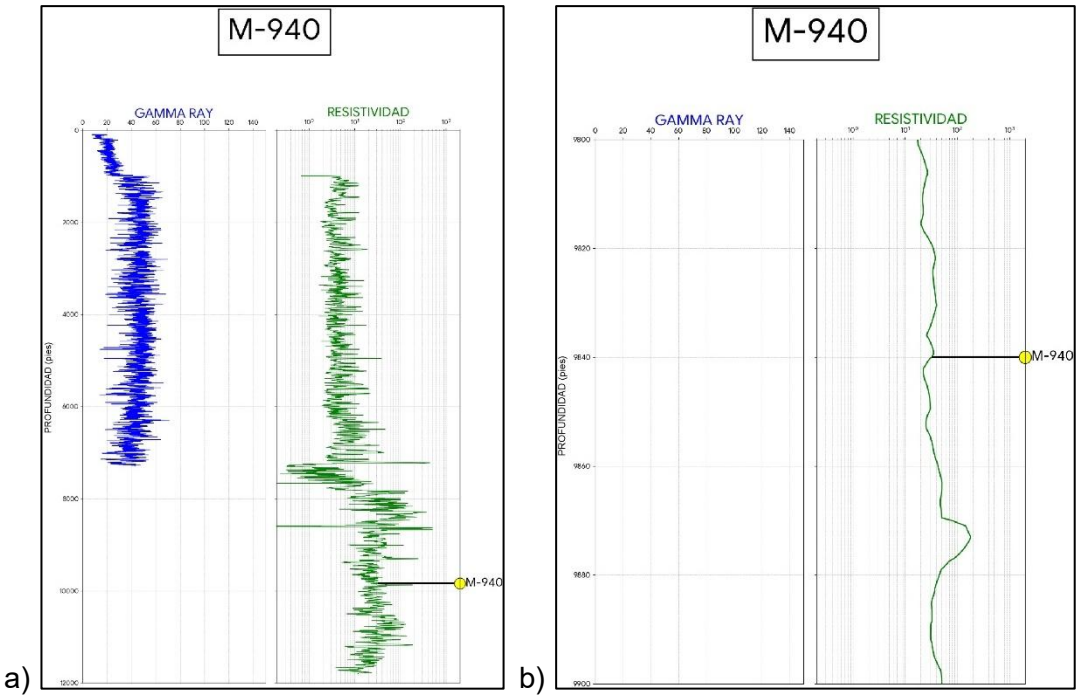
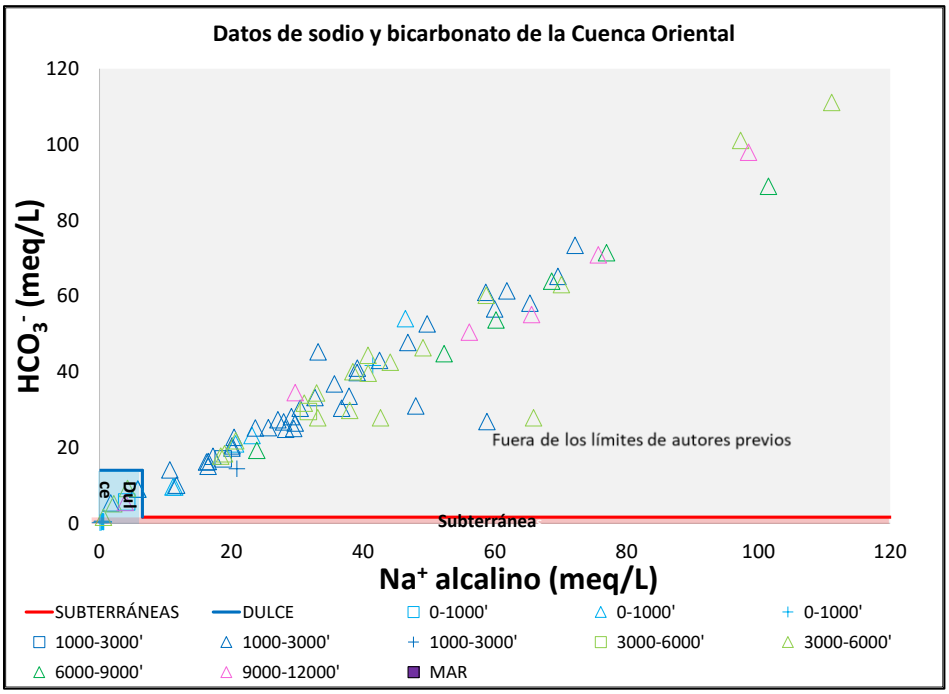
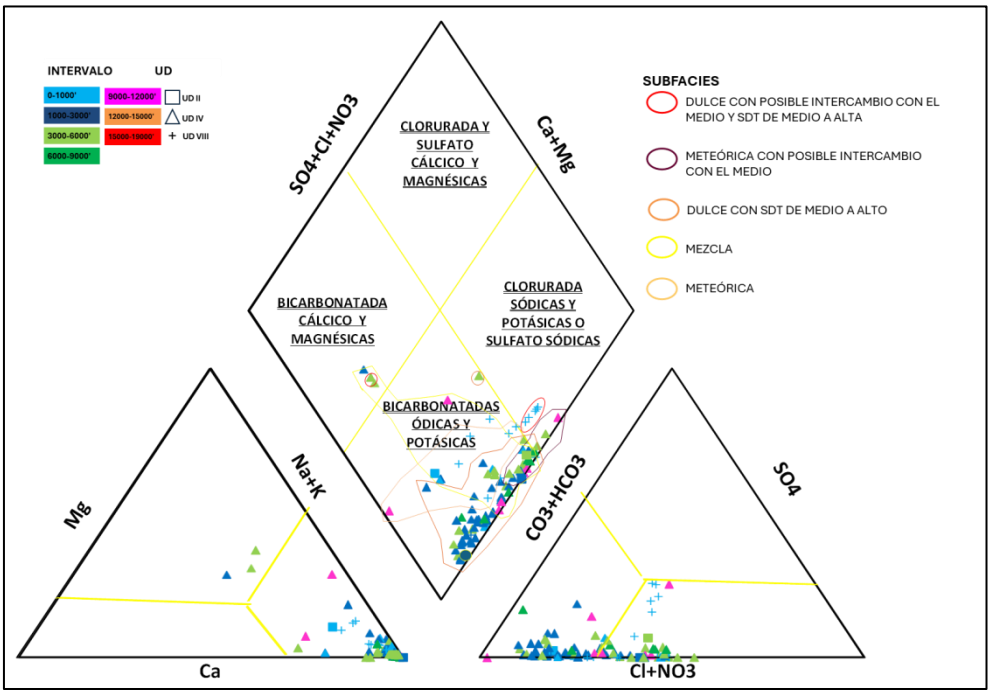


Figura 161. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada sódica subfacies mezcla con cantidad de sólidos disueltos media a alta de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-940 (salina). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-940 (salina).

En síntesis, entre los rasgos distintivos de la facies bicarbonatada sódica destaca la estrecha correlación entre los iones sodio (Na^+) y bicarbonato (HCO_3^-), relación que adquiere mayor nitidez al emplear la concentración de sodio alcalino (Figura 162). Asimismo, el Diagrama de Piper (1944) permite visualizar de manera efectiva los procesos de mezcla y la distribución preferencial de las subfacies. Si bien no se identifica un patrón de zonación espacial unívoco para las subfacies dentro de la cuenca, se observa una tendencia general donde aquellas muestras con mayor grado de interacción con aguas connatas se localizan predominantemente hacia el sur. Asimismo, en las áreas con la presencia de estas facies en intervalos profundos, se encuentran correlacionadas con muestras de agua con menor SDT en intervalos más someros.


Datos de sodio y bicarbonato de la Cuenca Oriental
HCO3- (meq/L)
Na+ alcalino (meq/L)
Fuera de los límites de autores previos
Subterránea
Dulce
SUBTERRÁNEAS
DULCE
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
MAR

a)


INTERVALO
UD
SUBFACIES
DULCE CON POSIBLE INTERCAMBIO CON EL MEDIO Y SDT DE MEDIO A ALTA
METEÓRICA CON POSIBLE INTERCAMBIO CON EL MEDIO
DULCE CON SDT DE MEDIO A ALTO
MEZCLA
METEÓRICA
SO4+Cl+NO3
Ca+Mg
CLORURADA Y SULFATO CÁLCICO Y MAGNÉSICAS
BICARBONATADA CÁLCICO Y MAGNÉSICAS
CLORURADA SÓDICAS Y POTÁSICAS O SULFATO SÓDICAS
BICARBONATADAS ÓDICAS Y POTÁSICAS
Mg
Na+K
Ca
CO3+HCO3
SO4
Cl+NO3

b)

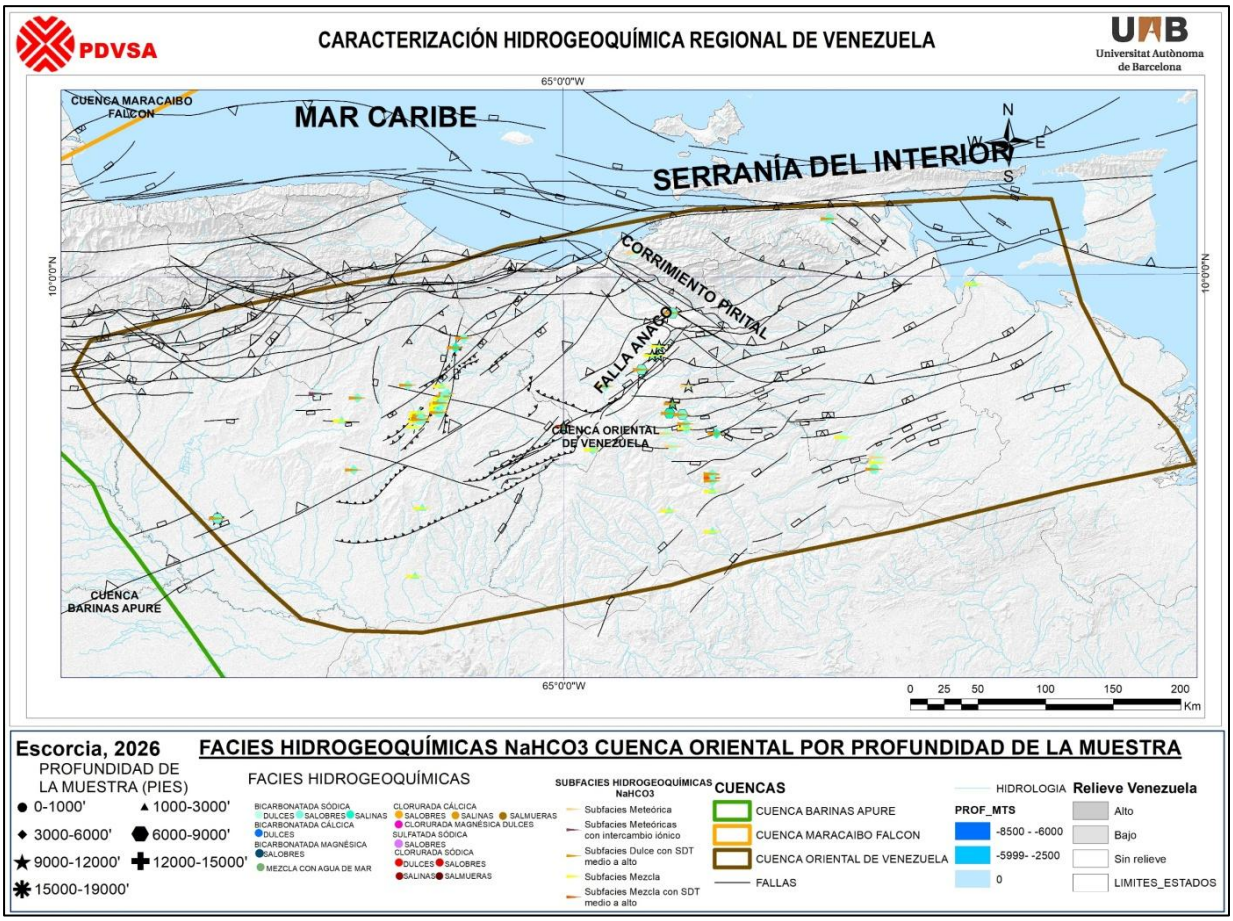
c) 

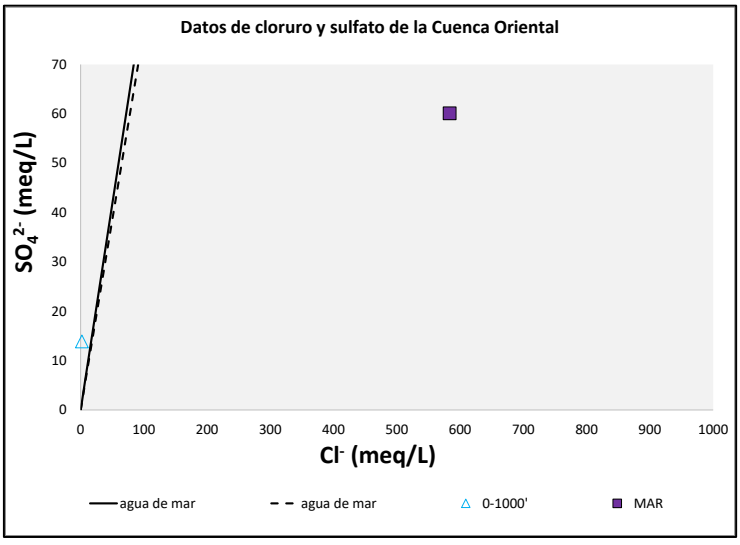
Figura 162. Caracterización de facies bicarbonatada sódicas en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico de concentraciones de sodio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. b) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. c) Mapa de ubicación de las muestras.

VI. 3. 3 Facies de aguas sulfatadas sódica

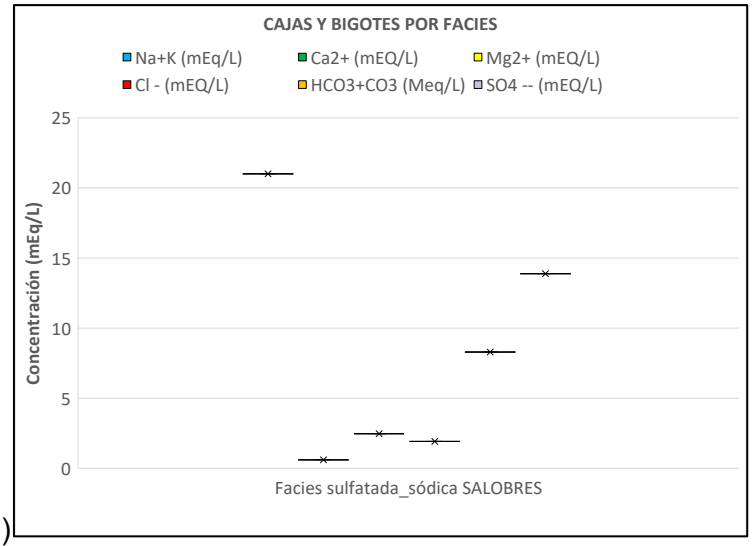
Según la tipología de Sulin (1946), meteórica; coherente considerando que el ion mayoritario es sodio (Figura 89). Esta clasificación se corresponde con la propuesta de Schoeller (1977) en Figura 90, e igual en los diagramas de Stiff (1951) en la Figura 92f y se clasifica como clorurada sódica y potásica o sulfato sódica según Piper (1944) en la Figura 163c. La facies de aguas sulfatada sódica se define por la predominancia de estos iones (Figura 163b).

En el análisis de iones mayoritarios se observa dentro de la clasificación dulce con aporte de sulfatos. Se realizó un detalle del gráfico de SO_4^{2-}/Cl^- y el gráfico de cajas y bigotes y se observa la preferencia del ion sulfato sobre el cloruro (Figura 163). En base a la cantidad de SDT, la muestra es salobre.

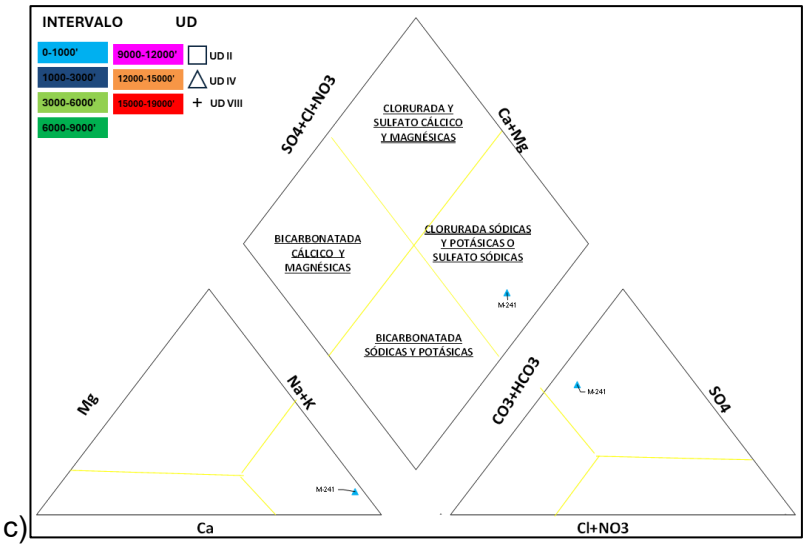
La facies está compuesta por una (01) de las muestras analizadas, tomada en superficie, en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDIV. Esta facies podría relacionarse también con los procesos de interacción roca fluido entre un agua dulce y minerales sulfatados como yeso y/o anhidrita o por el aporte desde el medio orgánico; adicionalmente también podría asociarse a un ambiente de alta meteorización donde el sodio existente provenga de minerales como albita o feldespatos sódicos (Tabla 24). Se encuentra al sur de la Cuenca Oriental de Venezuela, cercano a elementos estructurales como la Falla de Anaco. Al ser una muestra tomada en superficie, no dispone de registros eléctricos para comparar la respuesta asociada.



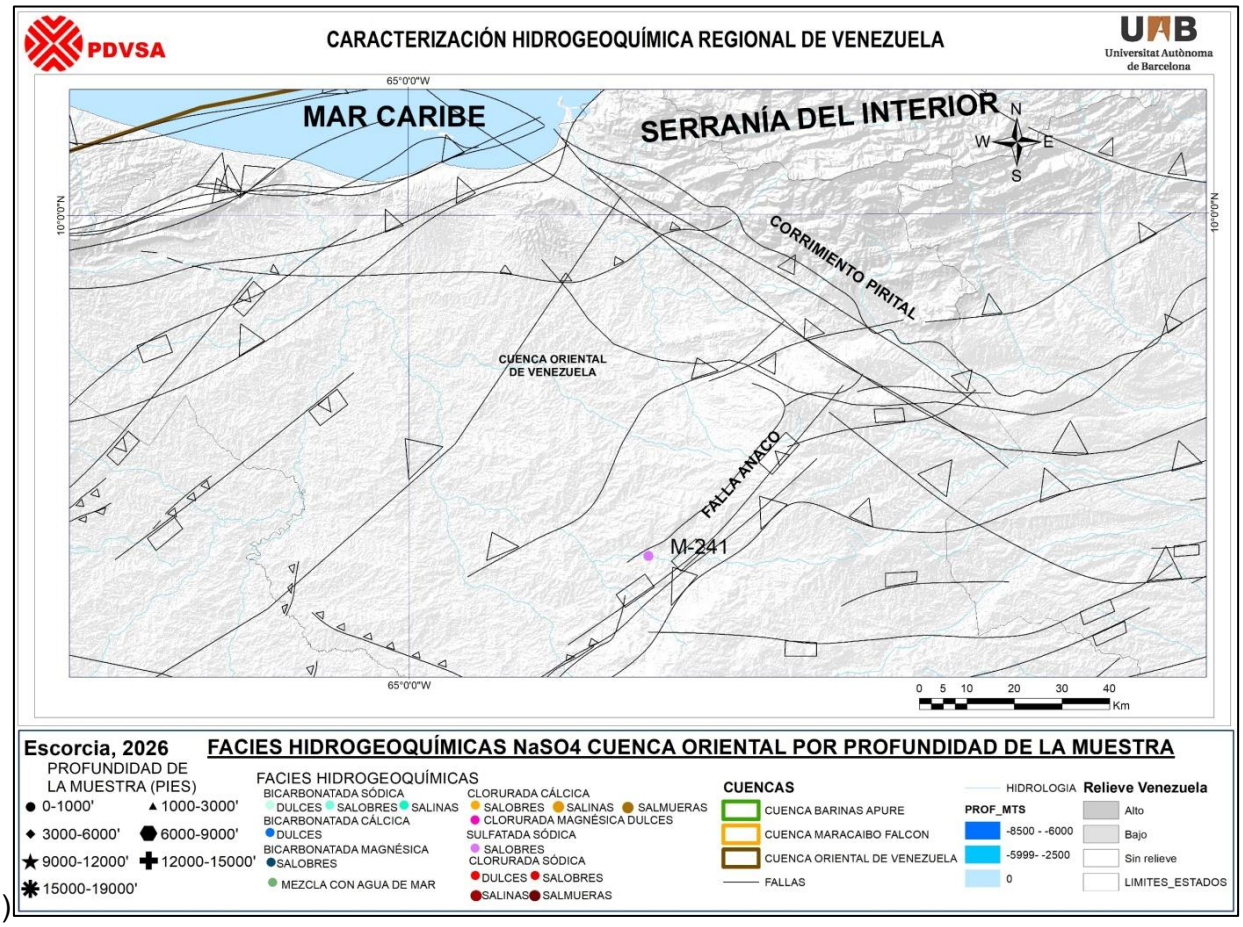
a)



b)



c)



d)

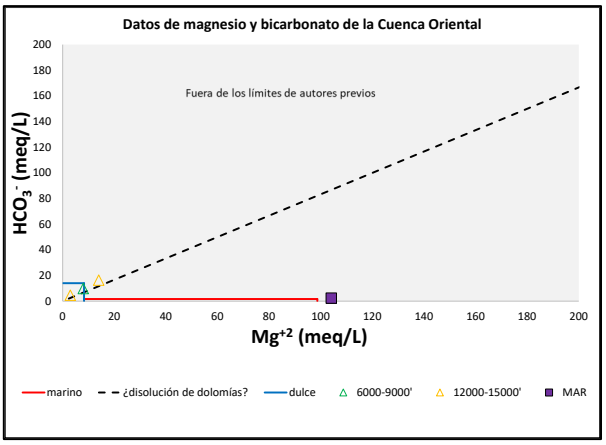
Figura 163. Caracterización de facies sulfatadas sódicas en la Cuenca Oriental de Venezuela: a) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a magnesio. b) Gráfico de concentraciones de cloruro con relación a sulfato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. c) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). d) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L y e) Ubicación de las muestras.

VI. 3. 4 Facies de aguas clorurada cálcica

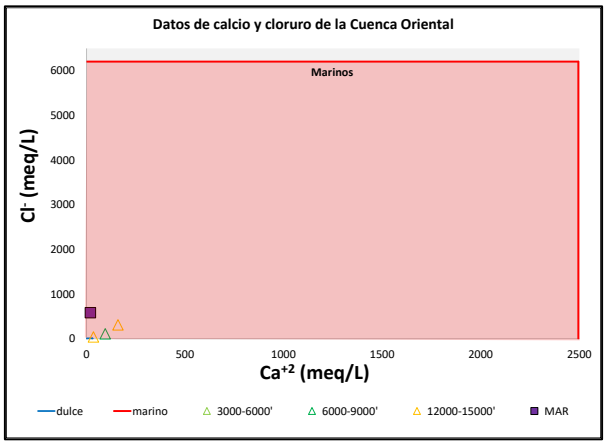
Según la tipología de Sulin (1946), connata; coherente considerando que el ion mayoritario es cloro (Figura 89). Esta clasificación se corresponde con la propuesta de Schoeller (1977) en Figura 90, e igual en los diagramas de Stiff (1951) en la Figura 92d y se clasifica como composición clorurada y sulfato cálcica y magnésica según Piper (1944) en la Figura 164c. La facies de aguas clorurada cálcica se define por la predominancia de estos iones (Figura 164b).

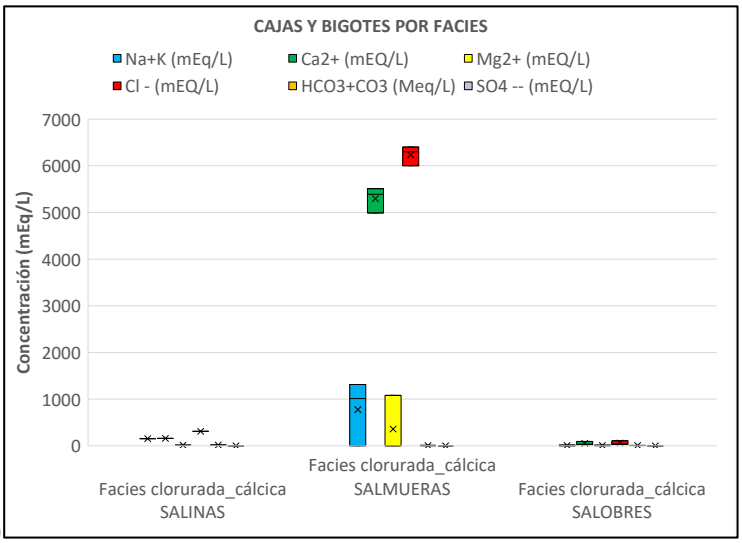
En el análisis de iones mayoritarios se observa dentro de la clasificación mezcla a connata o connata, en todos los casos con calcio como ion principal. Se realizó un detalle del gráfico de Ca^{2+}/Cl^{-}, gráfico de Mg^{2+}/HCO_3^{-} y el gráfico de cajas y bigotes y se observa el componente de mezcla de la muestra y una relación preferencial de los iones calcio y magnesio que podría relacionarse con rocas como la dolomía (Figura 164). En correlación, la cantidad de SDT, varía de salobres (03), salinas (01), a salmueras (03).

La facies está compuesta por siete (07) de las muestras analizadas, tomadas en profundidades desde 3.000 a 9.000 pies (~1.000 a 3.000 metros) y entre 12.000 a 19.000 pies (4.000 a 6.500 m aproximadamente), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDIV. Esta facies podría relacionarse también con los procesos de interacción roca fluido entre un agua de formación y minerales ricos en calcio como calcita (Tabla 24). Las muestras se concentran en tres puntos diferentes de la Cuenca Oriental, hacia el área central, en todos los casos cercanas a elementos estructurales regionales (Figura 164) y a litologías con contenido carbonático.

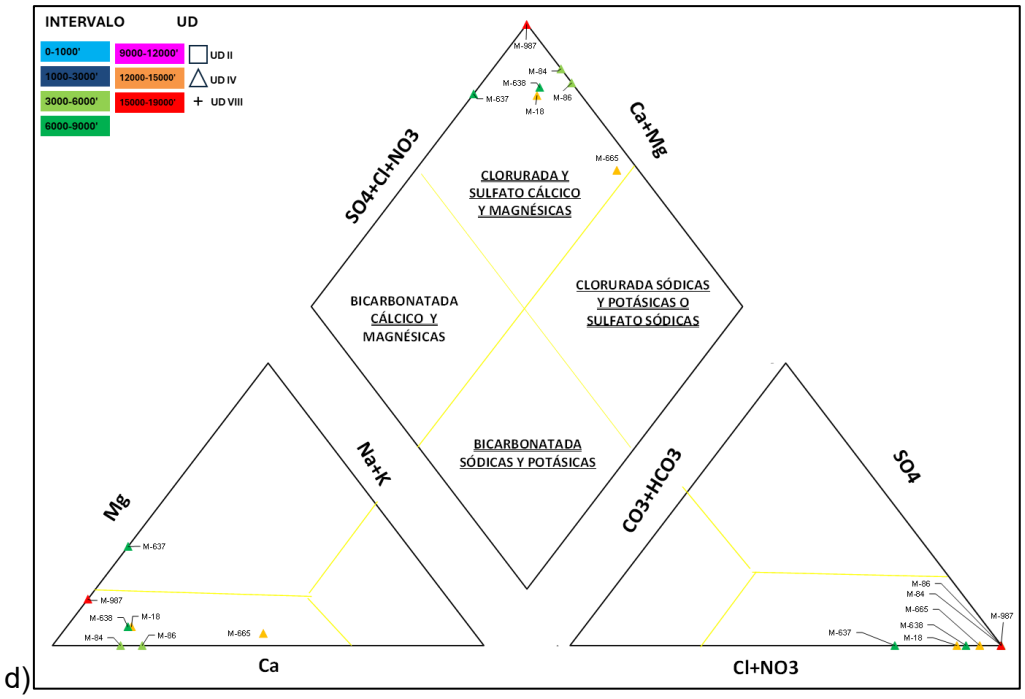

Datos de magnesio y bicarbonato de la Cuenca Oriental
Fuera de los límites de autores previos
HCO3- (meq/L)
Mg+2 (meq/L)
marino
¿disolución de dolomías?
dulce
6000-9000'
12000-15000'
MAR

a) b)


Datos de calcio y cloruro de la Cuenca Oriental
Marinos
Cl- (meq/L)
Ca+2 (meq/L)
dulce
marino
3000-6000'
6000-9000'
12000-15000'
MAR


CAJAS Y BIGOTES POR FACIES
Na+K (mEq/L)
Ca2+ (mEQ/L)
Mg2+ (mEQ/L)
Cl - (mEQ/L)
HCO3+CO3 (Meq/L)
SO4 -- (mEQ/L)
Concentración (mEq/L)
Facies clorurada_cálcica SALINAS
Facies clorurada_cálcica SALMUERAS
Facies clorurada_cálcica SALOBRES

c)



d)

e)

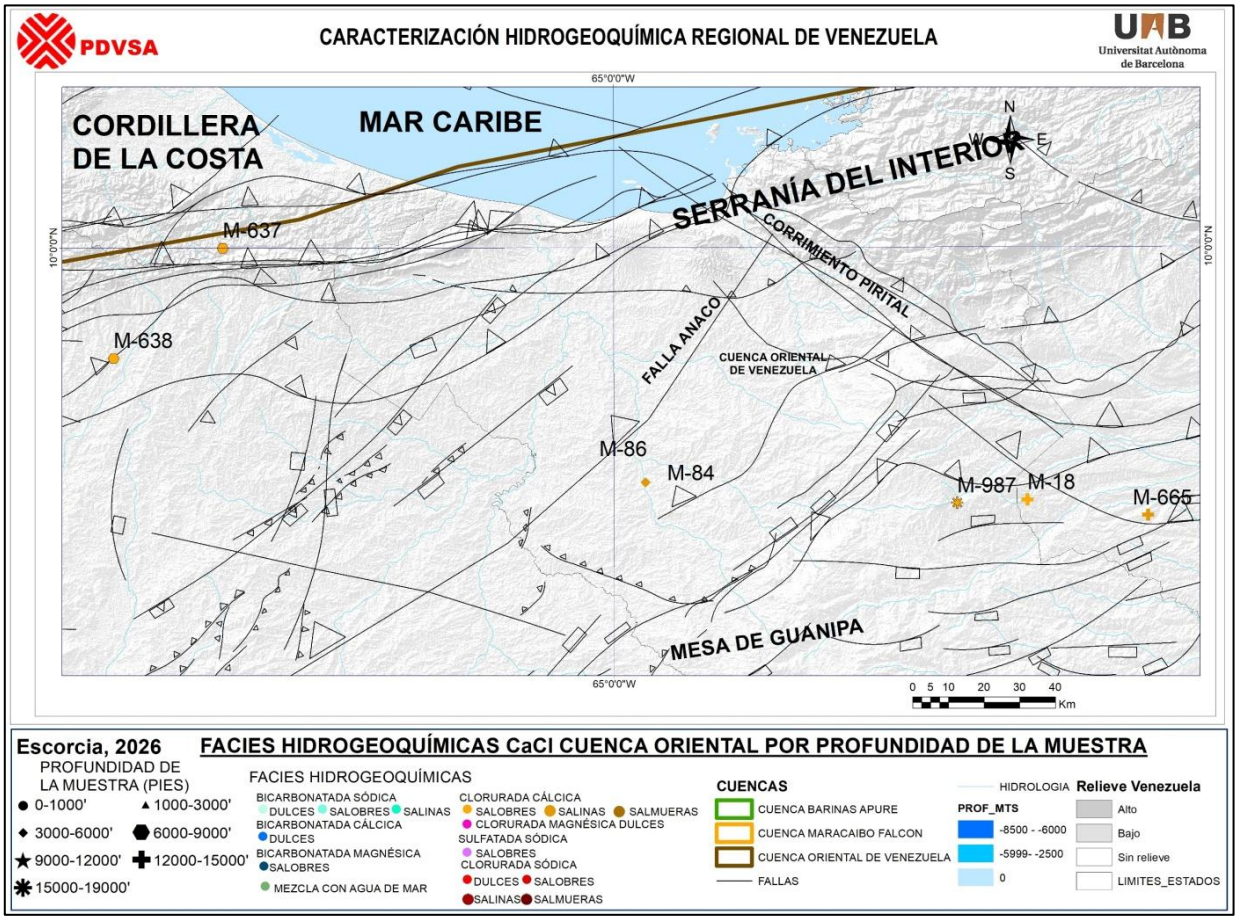
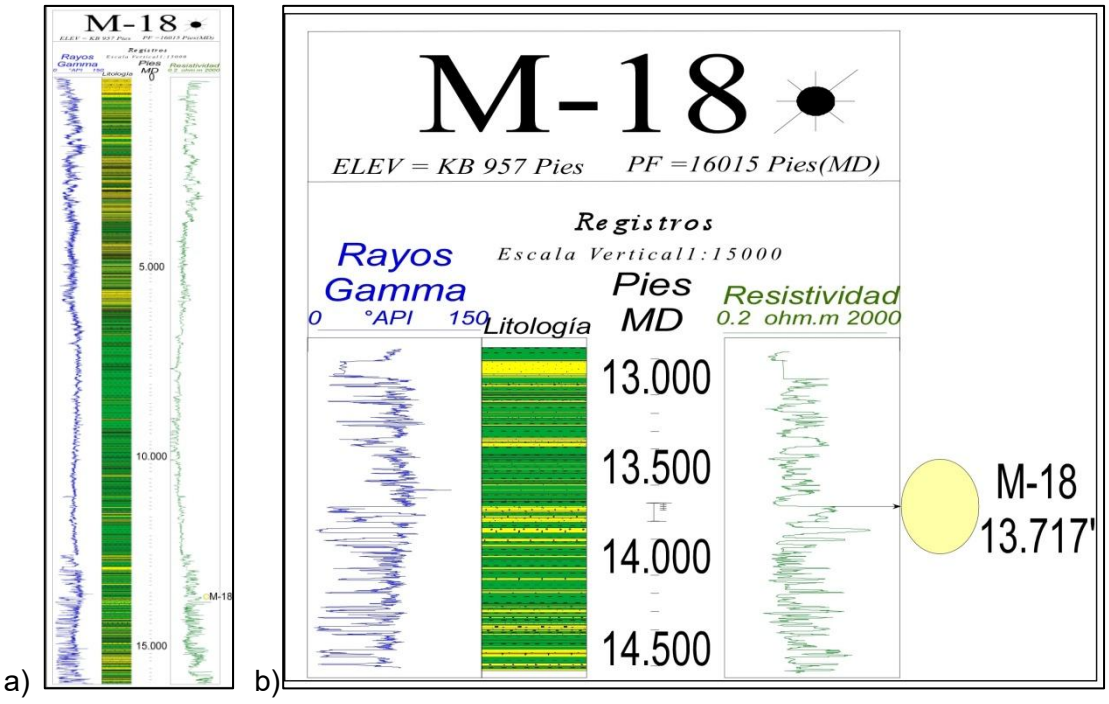


Figura 164. Caracterización de facies cloruradas cálcicas en la Cuenca Oriental: a) Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a bicarbonato b) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a cloruro. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. c)

Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). d) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. e) Mapa de ubicación de las muestras.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* potencial espontáneo y resistividad en los puntos de muestreo M-18, M-665 y M-84 (identificados en la Figura 165 con círculos amarillos). En esta subfacies de acuerdo con la cantidad de sólidos disueltos la presencia de la muestra o no podría estar alterando la lectura del registro resistivo. Para las muestras M-18 y M-665 salobre y salina si se observa un incremento en la resistividad; mientras que en la muestra M-84 salmuera la lectura de resistividad pareciera estar en la línea base.



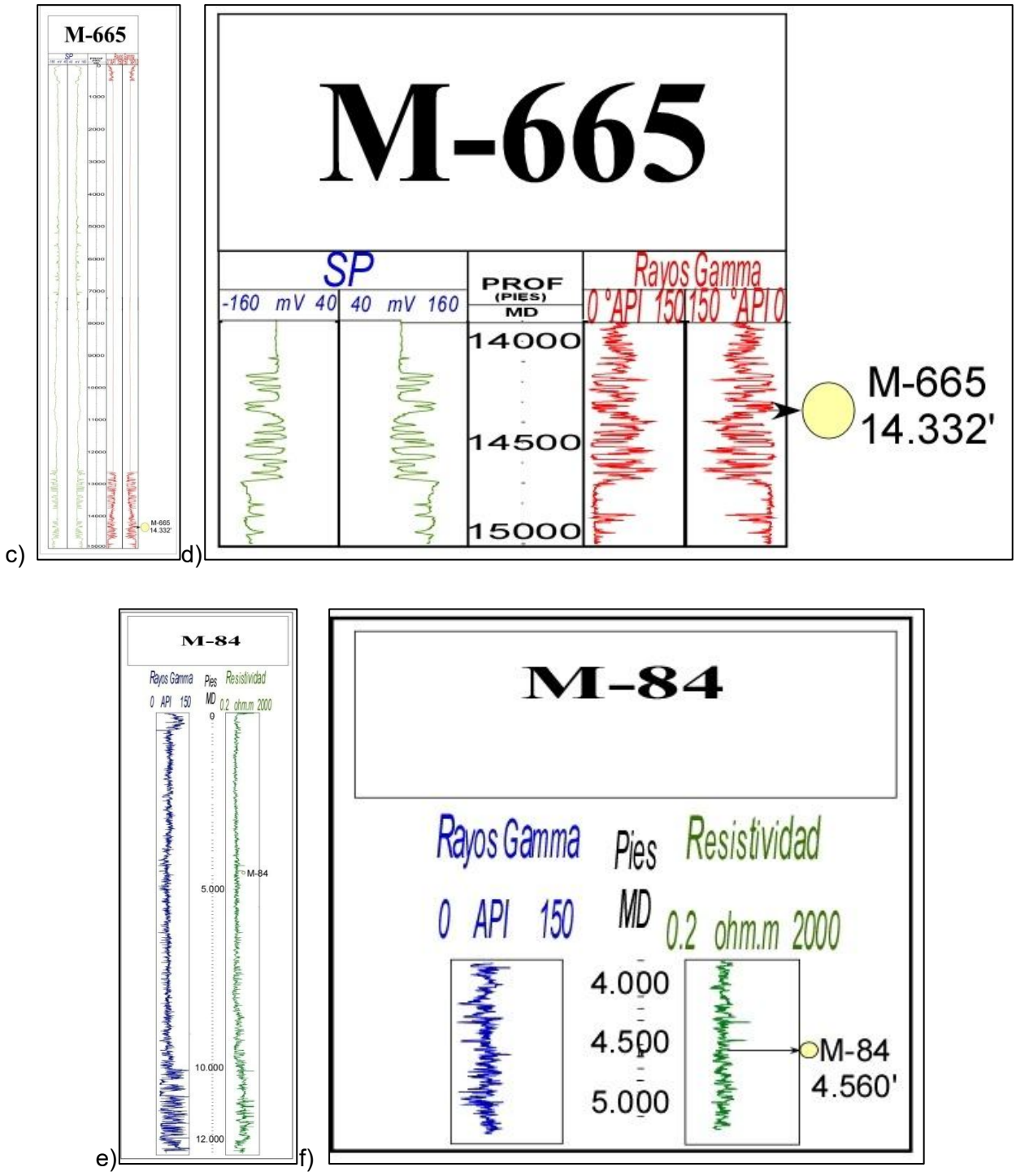


Figura 165. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies clorurada cálcica de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-18 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-18 (salobre). c) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-665 (salina). d) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-665 (salina). e) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-84 (salmuera). f) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-84 (salmuera).

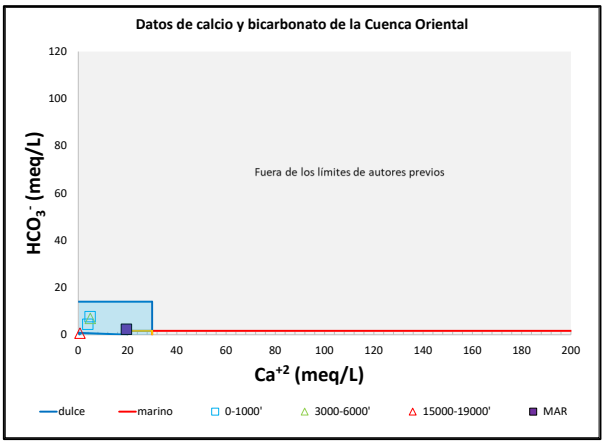
VI. 3. 5 Facies de aguas bicarbonatada cálcica

Según la tipología de Sulin (1946), tres de las muestras son meteóricas y dos son connatas, clasificación que no considera los iones mayoritarios (Figura 89). Esta clasificación se corresponde con la propuesta de Schoeller (1977) en Figura 90, e igual en los diagramas de Stiff (1951) con una forma de punta de flecha en la Figura 92b y se clasifica como bicarbonatada cálcicas y magnésicas (4) y bicarbonatadas sódicas y potásica según Piper (1944) en la Figura 166c. La facies de aguas bicarbonatada cálcica se define por la predominancia de estos iones (Figura 166b).

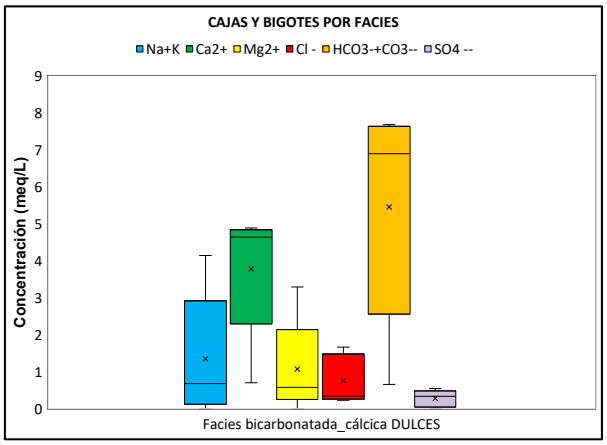
En el análisis de iones mayoritarios se observa dentro de la clasificación dulce o connata muy diluida, con una concentración de sílice y temperatura superior a la esperada en las muestras tomadas en superficie. Se realizó un detalle del gráfico de Ca^{2+}/Cl^{-} y el gráfico de cajas y bigotes y se observa la correlación positiva entre los iones (Figura 166). En base a la cantidad de SDT, las muestras son dulces.

La facies está compuesta por cinco (05) de las muestras analizadas, tomadas desde superficie hasta 6.000 y de 15.000 pies a 19.000 pies (~0 a 6.500 metros), en reservorio de las formaciones geológicas equivalentes a la UDII y UDIV. Esta facies podría relacionarse con la interacción entre rocas carbonatadas y aguas dulces (Tabla 24). Las muestras se encuentran en gran parte de la cuenca, por lo cual no necesariamente se relacionan genéticamente (Figura 166). Esta facies podría relacionarse con los procesos de interacción roca agua, enriquecida en deuterio para una de las muestras con composición isotópica.

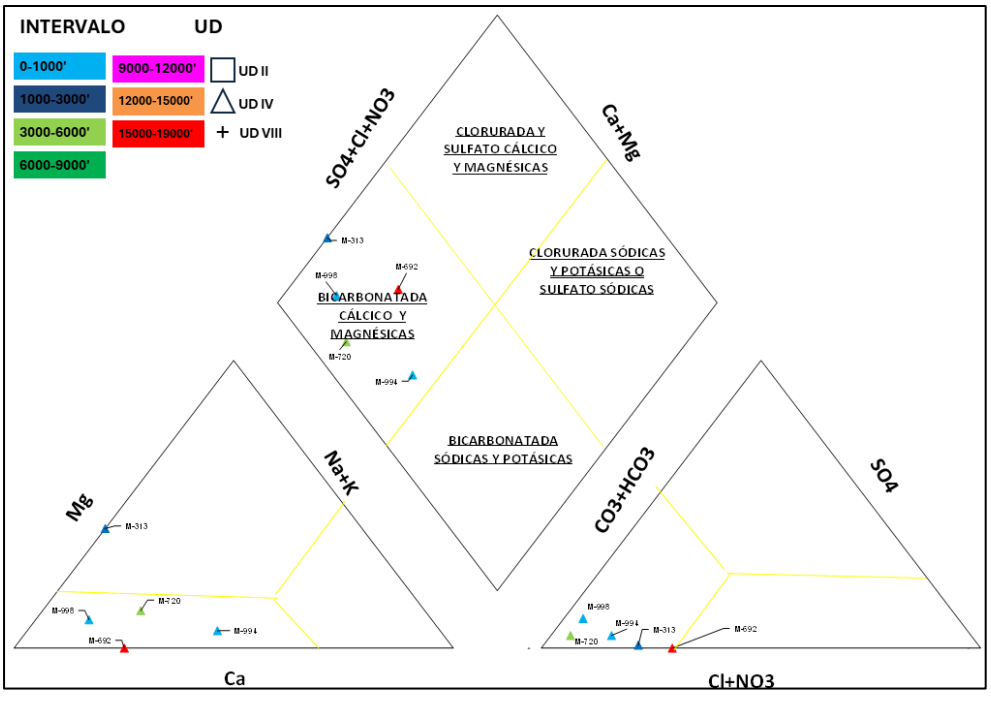
a)


Datos de calcio y bicarbonato de la Cuenca Oriental
HCO3- (meq/L)
Ca+2 (meq/L)
Fuera de los límites de autores previos
dulce
marino
0-1000'
3000-6000'
15000-19000'
MAR

b)


CAJAS Y BIGOTES POR FACIES
Na+K
Ca2+
Mg2+
Cl -
HCO3-+CO3--
SO4 --
Concentración (meq/L)
Facies bicarbonatada_cálcica DULCES

c)


INTERVALO
UD
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
UD II
UD IV
UD VIII
SO4+Cl+NO3
Ca+Mg
CLORURADA Y SULFATO CÁLCICO Y MAGNÉSICAS
CLORURADA SÓDICAS Y POTÁSICAS O SULFATO SÓDICAS
BICARBONATADA CÁLCICO Y MAGNÉSICAS
BICARBONATADA SÓDICAS Y POTÁSICAS
Mg
Na+K
Ca
CO3+HCO3
SO4
Cl+NO3
M-313
M-692
M-998
M-720
M-994

d)

Figura 166. Caracterización de facies bicarbonatadas cálcicas en la Cuenca Oriental: a) Gráfico de concentraciones de calcio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. b) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). c) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. d) Mapa con la ubicación de las muestras.

Desde una perspectiva geológica, se evaluaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad del punto M-692 (resaltado en amarillo en la Figura 167). Aunque la muestra se ubica en un intervalo de alta resistividad, los datos no muestran una respuesta característica que sugiera la presencia de agua dulce.

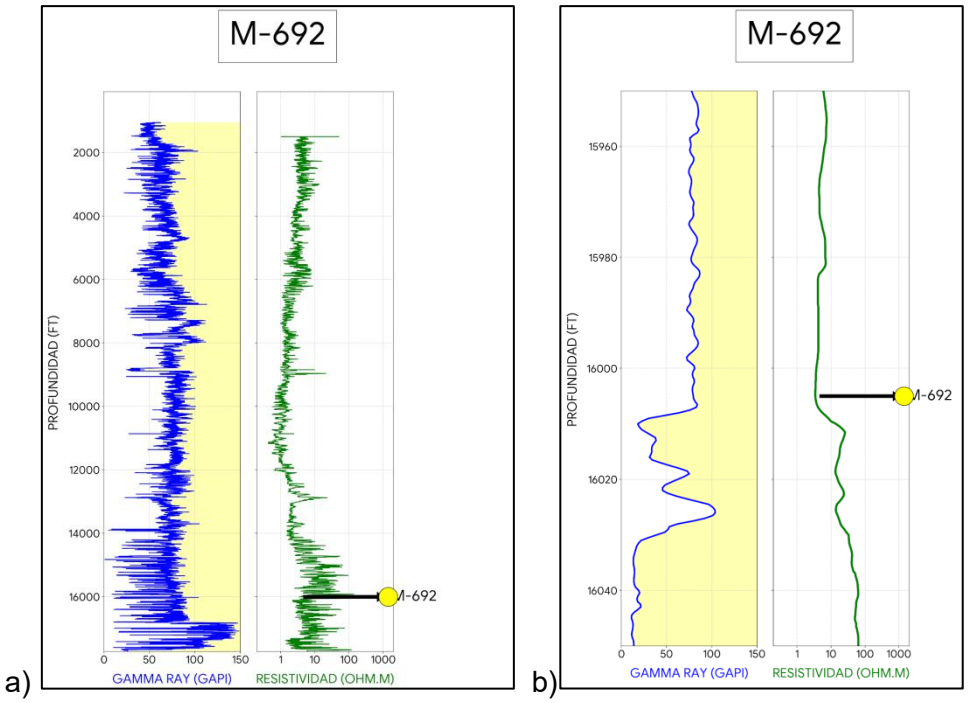


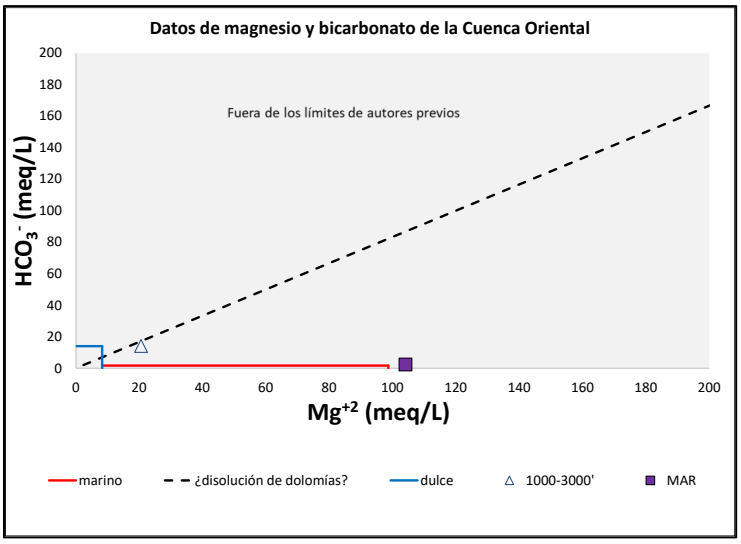
Figura 167. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada cálcica de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-692 (dulce). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-692 (dulce).

VI. 3. 6 Facies de aguas bicarbonatada magnésica

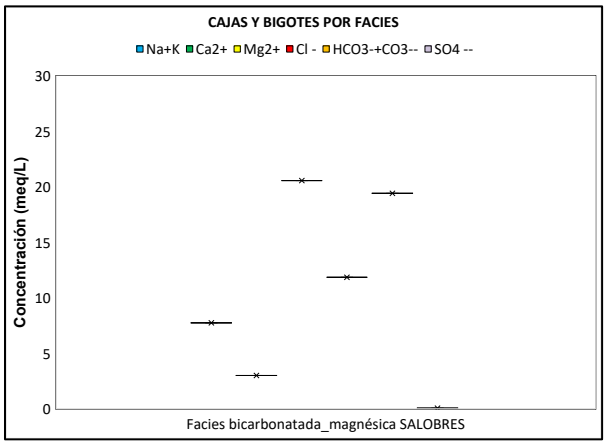
Según la tipología de Sulin (1946), connata, recordando que los iones mayoritarios no son sodio ni cloro (Figura 89). Esta clasificación se corresponde con la propuesta de Schoeller (1977) en Figura 90, e igual en los diagramas de Stiff (1951) en la Figura 92c y se clasifica como bicarbonatadas cálcicas y magnésicas según Piper (1944) en la Figura 168c. La facies de aguas bicarbonatada magnésica se define por la predominancia de estos iones (Figura 168b).

En el análisis de iones mayoritarios se observa dentro de la clasificación dulce. Se realizó un detalle del gráfico de Mg^{2+}/HCO_3^- y el gráfico de cajas y bigotes y se observa la correlación entre los iones (Figura 168). En base a la cantidad de SDT, la muestra es salobre.

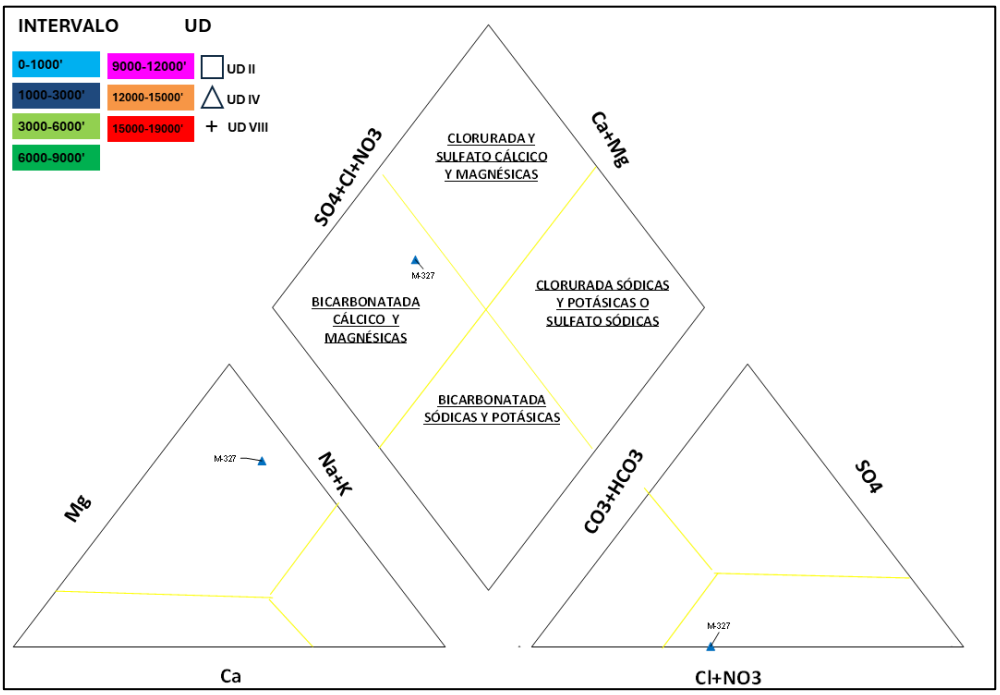
Sólo una de las muestras tiene esta clasificación, tomada entre 1.000 y 3.000 pies (~300 a 1.000 metros), en reservorios de formaciones geológicas equivalentes a la UDIV. Esta facies podría relacionarse con los procesos de interacción roca agua, mezcla con agua de mar, o por acción antrópica (Tabla 24). Se encuentra al suroeste de la Cuenca Oriental de Venezuela, dentro de la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías”.


Datos de magnesio y bicarbonato de la Cuenca Oriental
Fuera de los límites de autores previos
HCO3- (meq/L)
Mg+2 (meq/L)
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
marino
¿disolución de dolomías?
dulce
1000-3000'
MAR

a)


CAJAS Y BIGOTES POR FACIES
Na+K
Ca2+
Mg2+
Cl -
HCO3-+CO3--
SO4 --
Concentración (meq/L)
0
5
10
15
20
25
30
Facies bicarbonatada_magnésica SALOBRES

b)


INTERVALO
UD
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
UD II
UD IV
UD VIII
SO4+Cl+NO3
Ca+Mg
CLORURADA Y SULFATO CÁLCICO Y MAGNÉSICAS
BICARBONATADA CÁLCICO Y MAGNÉSICAS
CLORURADA SÓDICAS Y POTÁSICAS O SULFATO SÓDICAS
BICARBONATADA SÓDICAS Y POTÁSICAS
M-327
Mg
Na+K
Ca
CO3+HCO3
SO4
Cl+NO3

c)

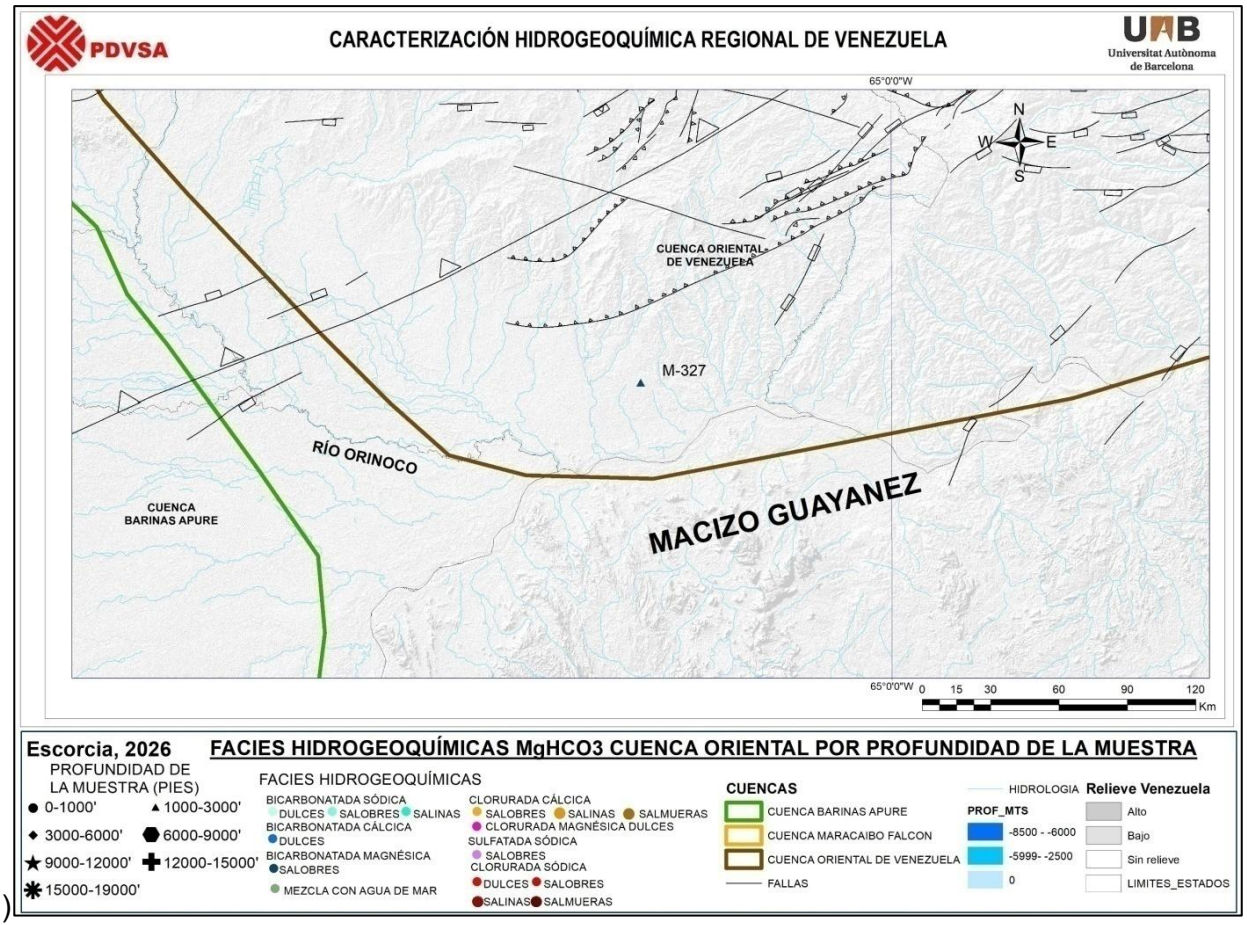
d) 

Figura 168. Caracterización de facies bicarbonatada magnésica en la Cuenca Oriental: a) Gráfico de concentraciones de magnesio con relación a bicarbonato. Los colores y el tipo de los símbolos son los descritos en la Figura 19. b) Gráfico *Box Plot* o de cajas y bigotes de la concentración en meq/L de los iones principales. En cada caja de valores: mediana (cruz), media (línea interna), cuartiles Q_1 y Q_3 (líneas finas externas a la caja) y puntos anómalos (puntos fuera de la caja). c) Diagrama de Piper (1944). Cada punto se refiere a distribución en un diagrama múltiple ternario de la concentración en meq/L. d) Mapa con la ubicación de las muestras.

Desde el punto de vista geológico, se analizaron los registros eléctricos de *gamma ray* y resistividad en el punto de muestreo M-327 (identificado en la Figura 169 con círculo amarillo). En estos registros se observan bajos valores de resistividad, que corresponden a lo descrito en la litología y/o *gamma ray* como posibles cuerpos de arena, aparentemente no influenciado por la presencia de agua.

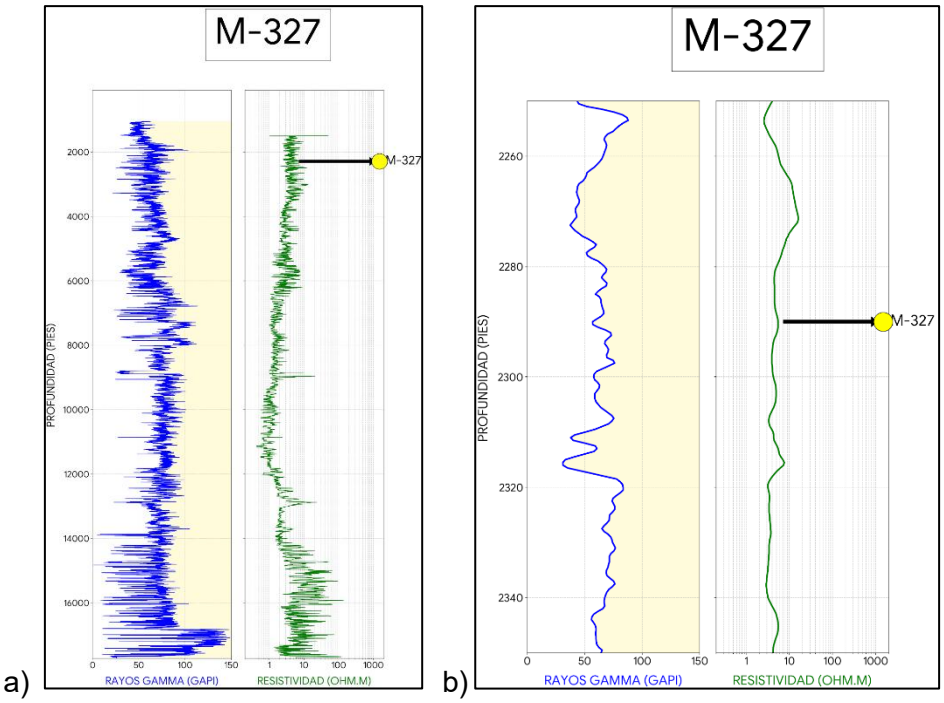


Figura 169. Registros eléctricos disponibles para caracterizar la facies bicarbonatada magnésica de la Cuenca Oriental de Venezuela. a) Registro eléctrico del pozo completo donde fue tomada la muestra de agua M-327 (salobre). b) Zoom del registro eléctrico en la profundidad donde se ubica la muestra de agua M-327 (salobre).

VI. 3. 7 Distribución vertical de las facies

El análisis de la distribución vertical en la Cuenca Oriental revela un sistema hidrogeoquímico dinámico, influenciado significativamente por rasgos estructurales de primer orden como la Falla de Anaco y el Corrimiento de Pirital. Los mecanismos de control que podrían regir las concentraciones de iones mayoritarios se detallan a continuación por intervalos de profundidad:

- Intervalo de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros): Se identificó la presencia de facies bicarbonatadas y cloruradas sódicas (Figura 153 y Figura 162), bicarbonatadas cálcicas (Figura 166) y sulfatadas sódicas (Figura 163). Existe una notable heterogeneidad en la distribución espacial de estas facies. Al norte de la Falla de Anaco y en las proximidades del Corrimiento de Pirital, destaca una alta densidad de muestras bicarbonatadas que sugieren procesos de recarga activa y equilibrio con CO_2 meteórico. Por el contrario, hacia la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías", predominan las aguas cloruradas sódicas.

- Intervalo de 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros): En este rango coexisten facies bicarbonatadas (sódicas, Figura 162; cálcicas, Figura 166; y magnésicas, Figura 168) y cloruradas sódicas (Figura 153). Las subfacies bicarbonatadas sódicas varían desde composiciones dulces hasta mezclas con sólidos disueltos totales (SDT) moderados a altos, lo

que indica una interacción entre aguas meteóricas y connatas. Hacia el oeste de la cuenca, el predominio de subfacies de mezcla sugiere que ciertos sistemas de fallas actúan como vías de migración para aguas superficiales. Por otro lado, la presencia de aguas cloruradas sódicas connatas (o connatas diluidas) evidencia sectores donde las fallas presentan una mejor capacidad sellante. Hacia el sureste y este, la transición de subfacies connatas a subfacies de mezcla e intercambio iónico responde a la interacción con acuíferos dulces. Esta interdigitación de facies a la misma profundidad sugiere un control sedimentológico sobre la hidroquímica. Asimismo, las facies bicarbonatadas cálcicas y magnésicas se podrían asociar a la interacción con secuencias carbonáticas locales.

- Intervalo 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros): las facies presentes incluyen aguas bicarbonatadas sódicas (Figura 162) y cálcicas (Figura 166) y aguas cloruradas sódicas (Figura 153) y cálcicas (Figura 164). Se observa una transición hacia ambientes más salinos y un incremento en la densidad de datos. Predominan las facies cloruradas sódicas (subfacies connatas y salobres), principalmente en el sector central y en el flanco sur de la cuenca. La marcada variabilidad e interdigitación entre las subfacies cloruradas y bicarbonatadas sódicas podría derivar de cambios laterales de facies sedimentarias o de variaciones en la integridad sellante de las fallas. Geográficamente, las salmueras con altos SDT se concentran en el centro-oeste, mientras que las facies bicarbonatadas sódicas se restringen al oeste del Graben de Espino, reafirmando la hipótesis de fallas que facilitan la infiltración de aguas dulces.

- Intervalo 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros): las facies presentes incluyen aguas bicarbonatadas sódicas (Figura 162) y aguas cloruradas sódicas (Figura 153) y cálcicas (Figura 164). Se evidencia un aumento en la proporción de facies cloruradas sódicas y una tendencia decreciente en el grado de mezcla de norte a sur. Es notable la ubicación de las facies cloruradas cálcicas al norte, lo que indica procesos de intercambio iónico con las secuencias siliciclásticas y carbonáticas del subsuelo. La variabilidad hidrogeoquímica observada a lo largo de las trazas del Corrimiento de Pirital y la Falla de Anaco sugiere diferencias en la transmisibilidad de fluidos de estos accidentes estructurales. En este intervalo, las muestras de la Faja Petrolífera del Orinoco ya no están presentes, y la desaparición de facies bicarbonatadas hacia el oeste sugiere la presencia de barreras laterales o verticales que aumentan la capacidad sellante del sistema.

- Intervalo 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros): En este rango de profundidad, las muestras se ubican al este de la cuenca. Las facies presentes incluyen aguas bicarbonatadas sódicas (Figura 162) y aguas cloruradas sódicas (Figura 153). La persistencia de algunas subfacies dulces con altos SDT en zonas de falla sugiere que estos accidentes geográficos pueden actuar como vías de migración para fluidos menos salinos. Estas muestras se

encuentran preferencialmente al oeste de la Falla de Anaco. Adicionalmente muchas de las muestras cloruradas sódicas presentan una orientación oeste-este al sur, que se podría relacionar con el acuñamiento de los sedimentos al sur (Figura 70).

- Intervalo 12.000 a 19.000 pies (~4.000 a 6.500 metros): En este rango de profundidad, la segmentación estructural se hace más evidente y las muestras siguen estando sólo al este de la cuenca. El sistema está dominado casi exclusivamente por facies cloruradas sódicas (Figura 153, salinas a salmueras) posiblemente entrampadas al momento de la depositación y facies cloruradas cálcicas (Figura 164). La presencia de calcio en estos niveles profundos (ej. muestra M-692) es indicativa de un posible proceso geoquímico de intercambio iónico gobernante. Adicionalmente se mantiene la alineación horizontal de las muestras al sur, posiblemente relacionadas con el acuñamiento de los intervalos estratigráficos.

Como particularidad de la Cuenca Oriental, se tienen muestras o lugares, donde la salinidad de las muestras disminuye con la profundidad, lo cual no es de esperar considerando que a mayor profundidad debería aumentar el contenido de sólidos disueltos, pues aumenta el tiempo de residencia. Al encontrarse estas muestras al sur de la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías”, se considera que pueden ser el resultado de mezclas parciales de aguas con distintas salinidades o características intrínsecas de los ambientes de sedimentación del área. Esto será tratado con más detenimiento en el VII. 1. 10 Caso 10. Muestras con sólidos disueltos totales menores a mayor profundidad del capítulo de simulaciones fisicoquímicas.

Capítulo VII
Simulación
Fisicoquímica

CAPÍTULO VII. SIMULACIÓN FISICOQUÍMICA

La simulación de procesos fisicoquímicos permite analizar las reacciones y condiciones físicas necesarias para que un fluido evolucione desde un estado inicial hasta una composición final observada. En este estudio, se prioriza el enfoque termodinámico sobre el cinético, fundamentado en los extensos tiempos de residencia del agua en cuencas sedimentarias permiten las interacciones roca-fluido se aproximen al equilibrio químico (Appelo y Postma, 2005 y Nordstrom, 1994). Asimismo, la termodinámica proporciona un marco predictivo más robusto para sistemas regionales complejos. Estas simulaciones permiten deducir los procesos compatibles con los datos observados bajo las leyes de la estabilidad química.

La base de datos utilizada en las simulaciones, parte de la generada en el proyecto y fue completada para el parámetro temperatura. Las constantes de disolución y las barreras cinéticas o no, de cada reacción posible, son dependientes de la temperatura. Algunos ejemplos de reacciones sensibles a la temperatura son: fraccionamiento isotópico de carbono, alteración por bacterias sulfato reductoras (T< 80°C), solubilidad de minerales como dolomita, calcita, halita y yeso y transformación de fases minerales como las arcillas (Tabla 2).

La temperatura de la base de datos en algunos casos se refiere a una medida *in situ* de la muestra, denominada como temperatura medida, y en otros casos, es una estimación a partir del gradiente geotérmico más cercano al área, denominada como temperatura estimada. Ello, tomando como base los resultados en Cordero *et al*., (2006); Parra *et al*., (2018); Santiago *et al*., (2014) y Santiago *et al*., (2015).

La temperatura de las muestras de agua disponibles presenta un rango desde 25°C a 250°C, generalmente de acuerdo con la profundidad de la muestra. La Cuenca Barinas Apure tiene una variación en la temperatura desde 25 a 130°C con muestras en profundidades desde 0 a 18.000 pies (~0 a 6.000 metros), indicando un bajo gradiente de temperatura (Figura 170). La Cuenca Maracaibo Falcón tiene una variación en la temperatura desde 25 a 170°C con muestras desde superficie a 18.000 pies (Figura 171, ~0 a 6.000 metros). Por último, la Cuenca Oriental tiene una variación en la temperatura desde 25 a 250°C con muestras desde superficie a 18.000 pies (Figura 172, ~0 a 6.000 metros).

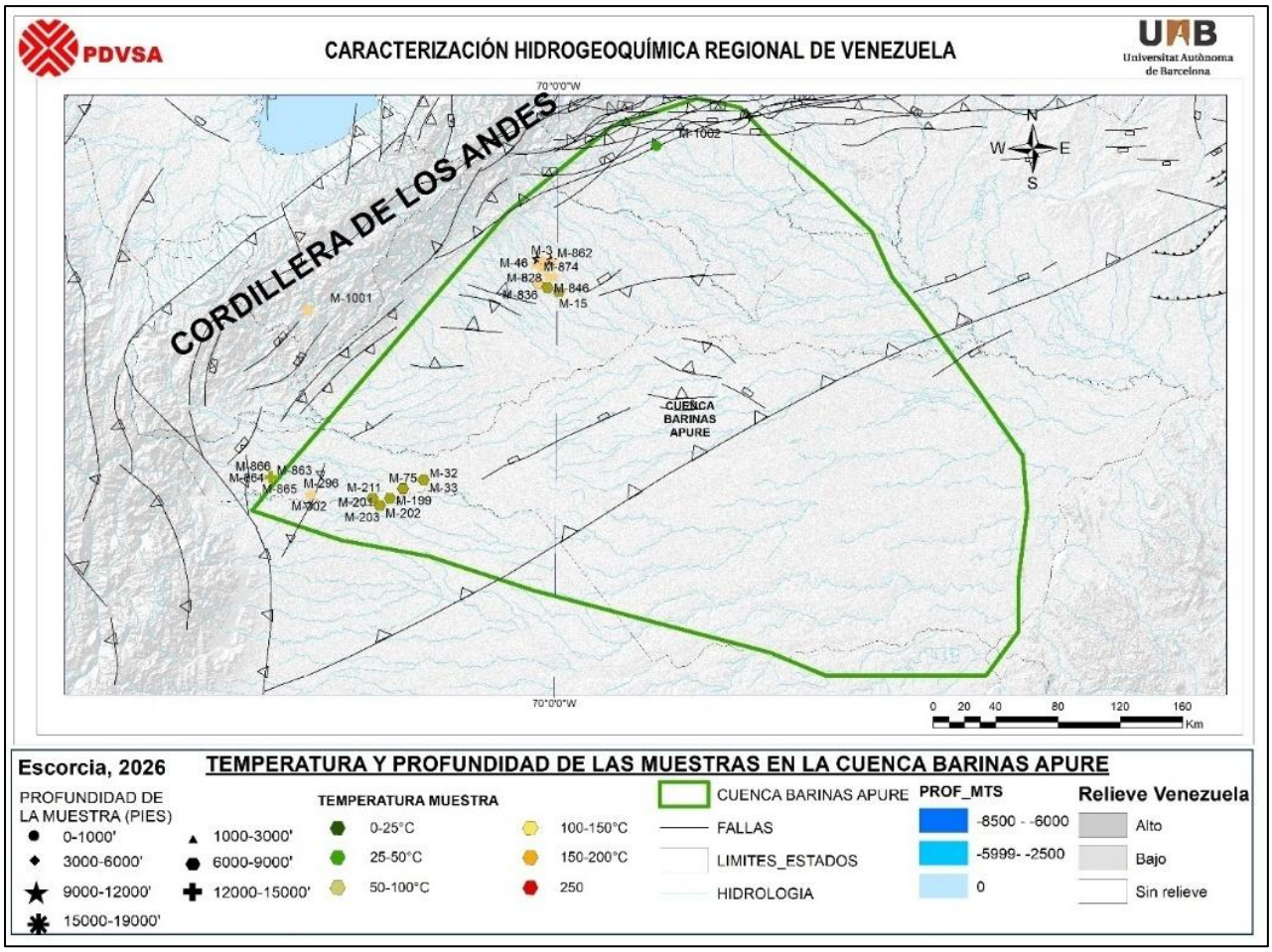


Figura 170. Rangos de temperatura de las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con las temperaturas medidas y/o estimadas.

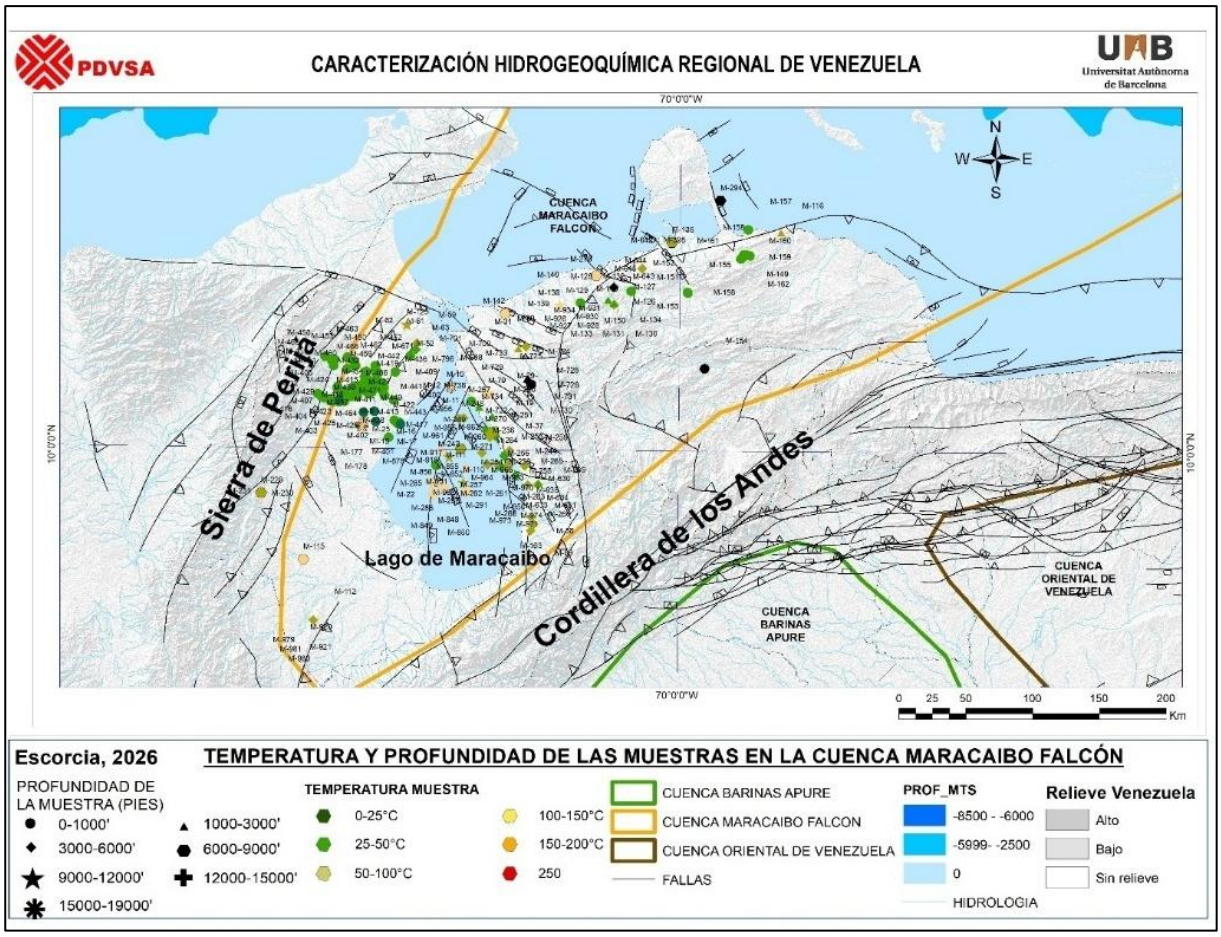


Figura 171. Rangos de temperatura de las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con las temperaturas medidas y/o estimadas

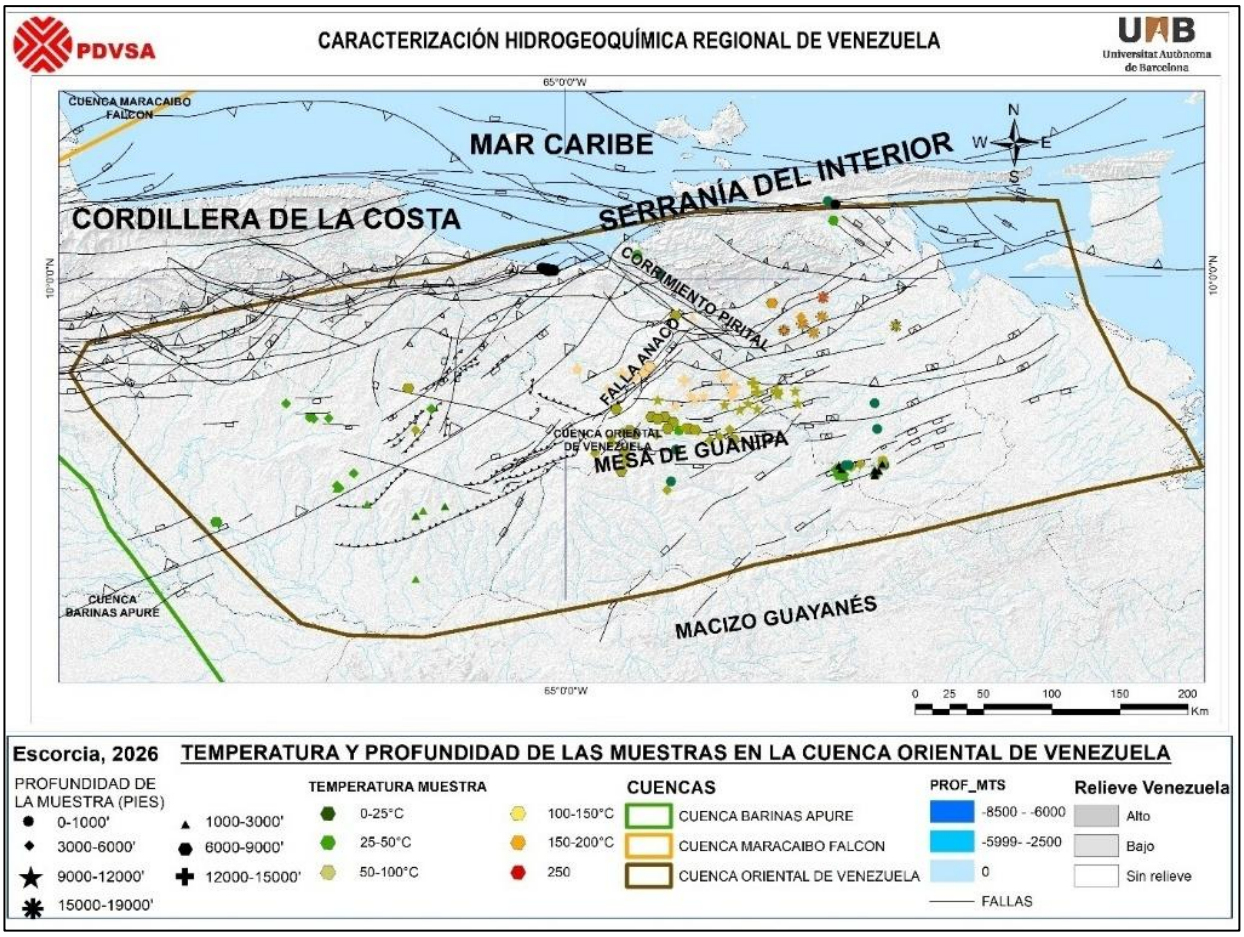


Figura 172. Rangos de temperatura de las muestras de agua de la Cuenca Oriental de acuerdo con las temperaturas medidas y/o estimadas

Este capítulo está estructurado en cuatro apartados, todos ellos enfocados a la predicción del comportamiento previo o futuro de las facies hidrogeoquímicas identificadas y caracterizadas en las cuencas petrolíferas de Venezuela. Algunos archivos de muestra de las simulaciones realizadas se compilaron en el Anexo C.

El primer análisis que se realizó fue la simulación de las posibles reacciones roca-agua planteadas en el capítulo de las facies hidrogeoquímicas, denominado casos de estudio. El objetivo fue contrastar la compatibilidad de la concentración de solutos de las aguas de procesos hidrogeoquímicos específicos simulados, con la concentración de solutos de las aguas caracterizadas de la base de datos, denominada muestra de referencia. Se realizaron un total de 60 simulaciones definitivas en el programa PHREEQC, para validar los escenarios propuestos.

El segundo análisis que se realizó fue un modelo para la especiación química de las facies hidrogeoquímicas caracterizadas, denominado modelo estático, a fin de visualizar los índices de saturación, y establecer áreas de posible precipitación para los minerales más comunes en las cuencas. Se realizaron un total de tres simulaciones definitivas en el programa PHREEQC,

separadas por cuenca petrolífera y considerando: 1) las facies seleccionadas para este capítulo y 2) el comportamiento a distintas temperaturas: 25, 50, 100 y 150°C.

El tercer análisis que se realizó fue simular lo que le ocurriría a cada una de estas facies hidrogeoquímicas, si entrara en contacto reciente con las fases minerales más comunes y solubles de las cuencas, en específico: halita, yeso, calcita, dolomita y hematita, denominado modelo dinámico. El objetivo fue establecer, si a partir de estas interacciones, los valores de los índices de saturación de las fases minerales consideradas previamente son significativamente modificados. Se realizaron un total de tres simulaciones definitivas en el programa PHREEQC, separadas por cuenca petrolífera, considerando: 1) las facies seleccionadas para este capítulo y 2) los minerales a evaluar: calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, calcita, yeso, halita y pirita.

El cuarto análisis que se realizó intentó ser predictivo, para el uso de lodos base agua o la filtración de aguas meteóricas, en áreas cercanas a las facies hidrogeoquímicas establecidas en este estudio, denominado posibles riesgos de cementación. Para ello se tomó de cada una de las cuencas una muestra de agua meteórica dulce bicarbonatada sódica (M-1002, M-425 y M-752) como el agua meteórica que podría infiltrarse, y una muestra de agua connata salmuera clorurada sódica (M-873, M-25 y M-147) como símil a un lodo tipo salmuera que se usaría en la perforación de un pozo. Para ello, se simuló el proceso de mezcla en porcentajes de 25, 50 y 75% entre estas muestras y cada una de las facies hidrogeoquímicas. El objetivo, fue simular los procesos de mezcla, para predecir la precipitación de minerales que puedan disminuir la calidad del reservorio. Se realizaron un total de tres simulaciones definitivas en el programa PHREEQC, separadas por cuenca petrolífera, considerando: 1) las facies seleccionadas para este capítulo y 2) los dos escenarios de invasión a evaluar.

VII. 1. Casos de estudio

La simulación se realizó a partir del programa PHREEQC, como se mencionó en el capítulo de metodología, y se tomaron muestras representativas de cada caso propuesto, junto con las bases de datos de composiciones mineralógicas y constantes de disolución del programa PHREEQC. Son un total de 10 casos propuestos sobre posibles planteamientos de procesos hidrogeoquímicos que ocurrieron para llegar a la concentración de solutos de la muestra desmee referencia; es decir, el análisis se realiza en base a la composición de las aguas simuladas, incluyendo en algunos casos cambios en las condiciones de temperatura y/o presencia de minerales específicos. Se resume en la

Tabla 43 la información que se utilizó como base de datos, en las simulaciones termodinámicas más relevante.

Tabla 43. Resumen de las simulaciones fisicoquímicas realizadas para comprender los procesos hidrogeoquímicos que pueden estar ocurriendo en las facies identificadas en las cuencas. CBA: Cuenca Barinas Apure, CMF: Cuenca Maracaibo Falcón y COV: Cuenca Oriental de Venezuela. En los procesos simulados, el *ítem* en negro indica aquel más congruente.

Caso	Agua de Comparación (Muestra Objetivo)	Aguas Extremo / Reactivos.	Procesos Simulados	Temperatura simuladas
1	M-863, M-866 (Bicarbonatadas sódicas salobre a 15.000 pies)	M-893, M-140 y M-568 (Connata NaCl) y M-1002 (Meteórica $NaHCO_3$)	• Mezcla de aguas; • Interacción con calcita; • Intercambio iónico con arcillas; • Diagenetización (Esmectita a Ilita). • **Evolución de aguas meteóricas**	Temperaturas originales de los reactivos
2	CBA: M-908 y M-50, CMF: M-273 y M-731 y COV: M-16, M-92, (NaCl dulces)	M-829, M-140, M-568 (Connatas) y agua de lluvia, M-1002, M-630 y M-985 (Meteóricas)	• **Mezcla de aguas**; • Intercambio iónico con halita; • Alteración de plagioclasas y precipitación calcita	25, 50, 100, 150°C (sólo en la mezcla) y temperatura original
3	M-469, M-387 (Cloruradas sódicas similares mar)	M-993 COV, M-402 CMF (Bicarbonatadas sódicas); Aerosol marino; M-22	• **Mezcla de aguas**	Temperaturas originales de los reactivos
4	CBA: M-32 y M-76, CMF: M-291y M-399 y COV: M-241 (Sulfatadas sódicas)	M-863 (Bicarbonatada sódica salobre), M-75 (Clorurada sódica salobre).	• Disolución de sulfatos; • Oxidación de pirita; • **Mezcla de aguas**	25°C a 150°C y temperatura original
5	M-46, M-460 (Potásicas: K > Na)	M-893 y M-895 (Sódica)	• Interacción agua-roca con minerales potásicos **Intercambio iónico con arcillas y minerales.**	Temperaturas originales de los reactivos
6	M-11, M-229 (Cloruradas cálcicas)	M-82, M-61 (Cloruradas sódica); M-1001 (Sulfatada Cálcica).	• Interacción con minerales enriquecidos en calcio; • Mezcla de aguas; • Precipitación de minerales sódicos; • **Intercambio catiónico en arcillas.**	Temperaturas originales de los reactivos
7	M-429, M-846 (Cloruradas magnésicas)	M-402 y M-82 (Clorurada sódica); M-640 (Sulfatada magnésica).	• Reacción con dolomita; • Mezcla de aguas; • Precipitación de minerales sódicos; • **Intercambio catiónico en arcillas.**	Temperaturas originales de los reactivos
8	M-994, M-460 (Bicarbonatadas cálcicas)	M-993 (Bicarbonatada sódica); M-1001 (Sulfatada Cálcica).	• Interacción con minerales cálcicos; • Mezcla de aguas; • Precipitación de minerales sódicos; • **Intercambio catiónico en arcillas y fases en equilibrio.**	Temperaturas originales de los reactivos
9	M-111, M-323, M-723, M-728 (Bicarbonatadas magnésicas)	M-725 (Bicarbonatada sódica); M-429 (Clorurada Magnésica).	• Reacción con dolomita; • Mezcla de aguas; • Precipitación de minerales sódicos; • **Intercambio catiónico en arcillas y fases en equilibrio.**	Temperaturas originales de los reactivos
10	M-315 y M-312 (Salinidad decreciente con profundidad)	M-324, M-319, M-239 (Alta salinidad); M-798, M-818 (Baja salinidad)	• **Mezcla de aguas;** • **Alteración de aguas de formación de ambientes continentales.**	Temperaturas originales de los reactivos

VII. 1. 1 Caso 1. Evidencias de muestras bicarbonatadas sódicas a 15.000 pies (~5.000 metros) de profundidad

Las aguas bicarbonatadas sódicas suelen relacionarse con aguas dulces de baja concentración que se encuentran en contacto con la atmósfera, entrando en un intercambio con el dióxido de carbono y generando equilibrios ácidos base con los bicarbonatos (Ejemplo muestra M-1002 en la Cuenca Barinas Apure, Figura 173). Adicionalmente, también pueden encontrarse en muestras de agua en contacto con litologías carbonáticas como la caliza y la dolomía.

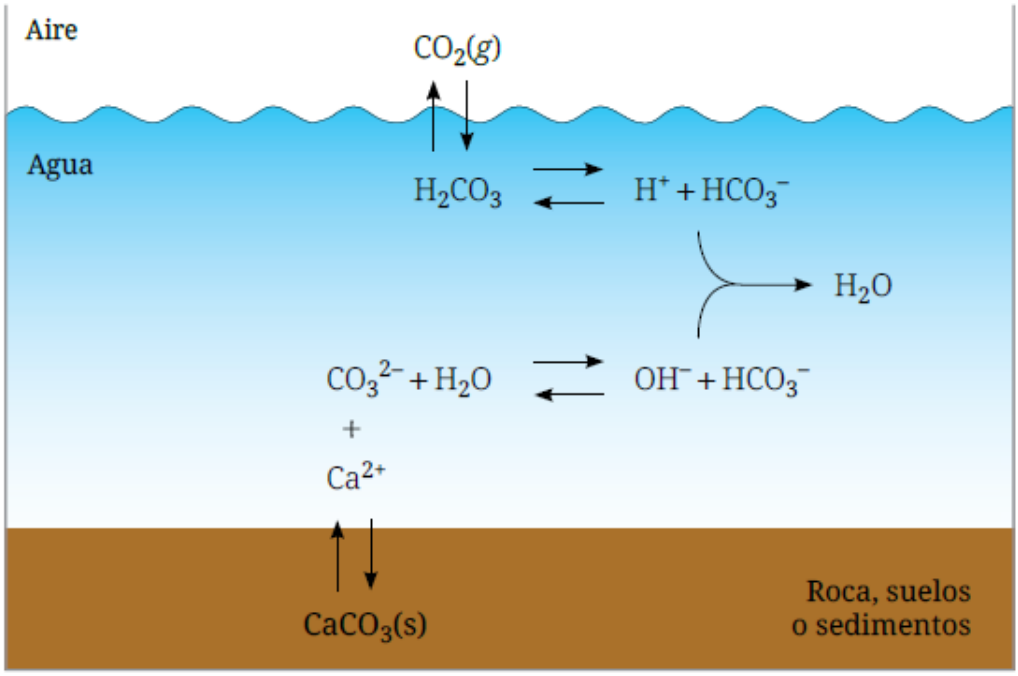


Figura 173. Condiciones posibles para la interacción agua roca en equilibrio con el CO_2 Tomado de (García Villanueva, 2023)

En el caso 1, las muestras son bicarbonatadas sódicas salobres (ejemplo M-863 y M-866) pero fueron capturadas a una profundidad en el rango de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros).

Las simulaciones planteadas incluyeron 6 escenarios:

- Escenario 1: mezcla de aguas connatas profundas (M-893) con aguas meteóricas someras (M-1002) que son infiltradas por fallas mayores hasta las condiciones de la muestra.
- Escenario 2: aguas de formación (M-893), que se encuentran en contacto con calcita y cambiaron su composición inicial.

- Escenario 3: aguas de formación (M-893) que se encuentran en contacto con calcita y luego se mezcla con aguas meteóricas (M-1002).

- Escenario 4: aguas connatas profundas (M-893) en equilibrio con arcillas (Ecuación 28), que luego se mezcla con aguas meteóricas (M-1002), así, se generaría un proceso de remoción de calcio del medio y la inclusión de sodio.

- Escenario 5: cambio de la composición del agua (M-893), por un proceso diagenético de las arcillas que ocurre en temperaturas cercanas a los 100°C (esmectita a ilita, Ecuación 28 y Figura 174).

- Escenario 6: cambio de la composición del agua (M-893), por un proceso diagenético de las arcillas que ocurre en temperaturas cercanas a los 100°C (esmectita a ilita, Ecuación 28), que luego se mezcla con aguas meteóricas (M-1002).

- Escenario 7: agua meteórica (M-1002) que luego de la depositación entra en contacto con los minerales de la litología caja calcita, dolomita y albita hasta alcanzar el índice de saturación cero (0) y luego la precipitación, hasta establecer un índice de saturación igual a 0 para los minerales feldespato potásico, caolinita, cuarzo (cemento) y yeso.

$$esmectita_s + K^+{}_{ac} \xrightarrow{(T>90°C)} cuarzo_s + Na^+{}_{ac} + Ca^{2+}{}_{ac} + nH_2O$$

Ecuación 28. Ecuación general estequiométrica (modelo de Fisher y Boles, 1990) en la reacción de ilitización de la Esmectita.

El escenario más congruente con la muestra de referencia es el 7 en el cual se simula el proceso de intercambio de un agua meteórica original con los minerales presentes en la cuenca y la precipitación de aquellos con índices de saturación superior a 0 (Figura 174). Este escenario implementó una estrategia de dos etapas. En la primera etapa, el bloque INVERSE_MODELING calculó las transferencias molares de fases necesarias para explicar la evolución química desde M-1002 hasta M-863, con tolerancias de incertidumbre del 15% para la solución fuente y 20% para la solución objetivo, balanceando los iones mayoritarios. Las fases candidatas incluyeron: calcita, dolomita, yeso, albite, k-feldespato, caolinita y CO_2(g). En la segunda etapa, las transferencias molares obtenidas por inversión se implementaron como restricciones del bloque EQUILIBRIUM_PHASES en un modelado directo, con las fases de disolución definidas mediante *dissolve_only* y las de precipitación mediante *precipitate_only*. El modelo directo confirmó la convergencia hacia la composición de M-863, alcanzando índices de saturación de SI=0 para albita, K-feldespato, caolinita y cuarzo, validando el cierre termodinámico del modelo. Planteamientos que

pueden observarse en fluidos similares en estudios como Fisher y Boles, 1990 y Jiang *et al*., 2024. Las incoherencias más notables con respecto a la muestra de interés en los escenarios adicionales son altas concentraciones de cloruro y/o sodio.

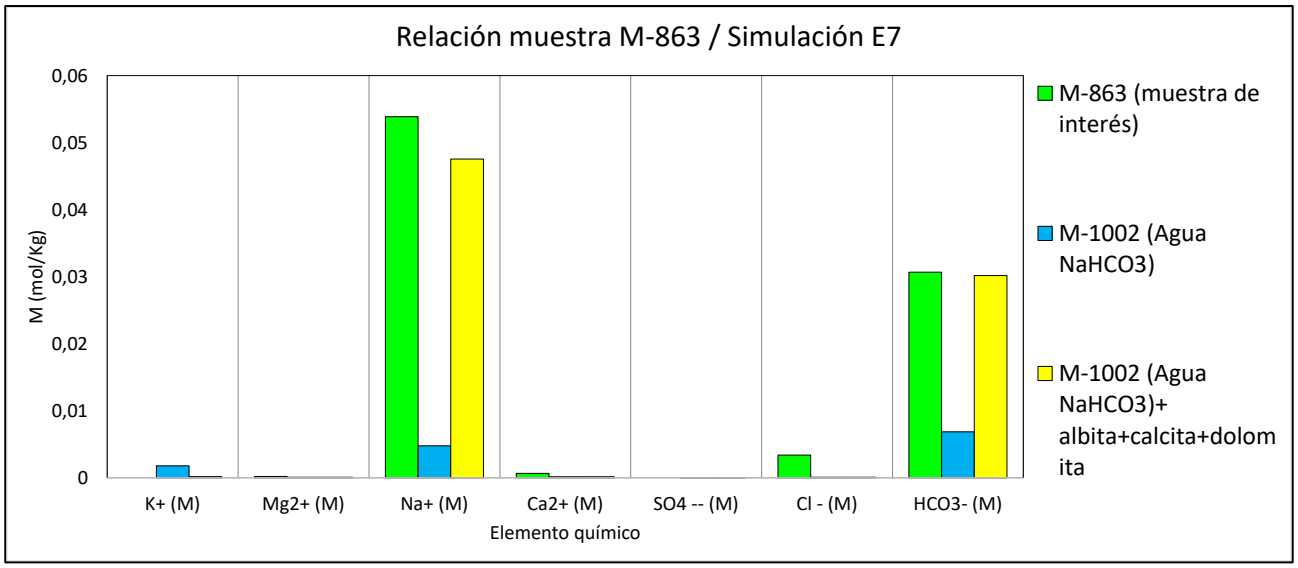


Figura 174. Gráficos de barras con las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el escenario 7 del caso 1 de la simulación fisicoquímica de aguas bicarbonatadas sódicas a 15.000 pies. Las barras de color amarillo son las concentraciones resultantes. Las barras de color verde representan la concentración actual de una muestra bicarbonatada sódica a 15.000 pies (M-863) en la Cuenca Barinas Apure. Las barras de color azul corresponden a una muestra bicarbonatada sódica dulce.

VII. 1. 2 Caso 2. Evidencias de muestras cloruradas sódicas con una clasificación dulce de acuerdo con Hem (1970)

Las aguas cloruradas sódicas están presentes en aguas connatas o de formación con altos tiempos de residencia y altas concentraciones de sólidos disueltos totales, según Chebotarev (1955). Ejemplos de estas aguas serían las muestras M-829 (barras de color rojo) y M-893. Sin embargo, en el caso 2 las muestras son cloruradas sódicas, pero su concentración de sólidos disueltos totales es menor a 1.000 ppm. En la Cuenca Barinas Apure se tienen por ejemplo las muestras M-742 (barras de color verde) y M-908 que fueron captadas en un rango de profundidad de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros). En la Cuenca Maracaibo Falcón se tienen, por ejemplo, las muestras M-273, M-731 y M-441, captadas mayoritariamente en un rango de profundidad de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), pero con un rango de profundidad de hasta 6000 pies. Por último, en la Cuenca Oriental se tienen muestras en casi todos los intervalos de profundidad, con ejemplos como las muestras M-16, M-742, M-382 y M-92.

Las simulaciones planteadas incluyeron 3 escenarios:

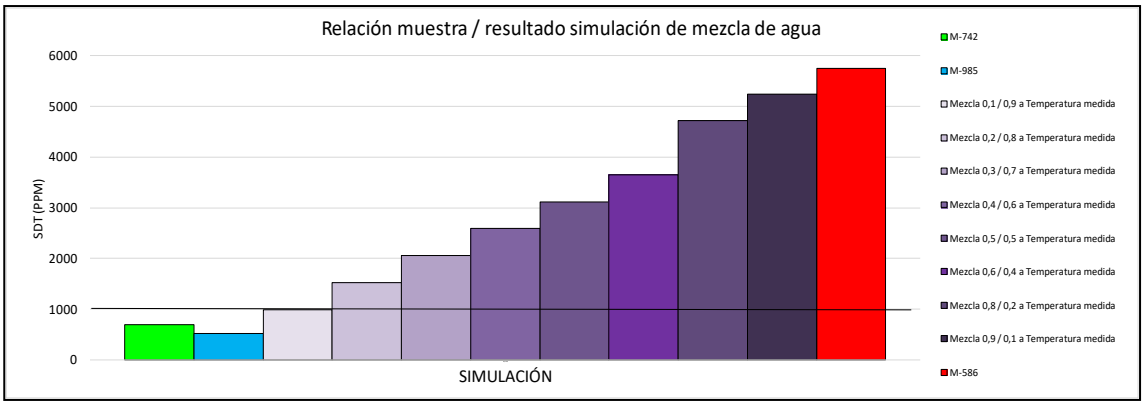
- Escenario 1: proceso de mezcla de aguas connatas (M-829 en la Cuenca Barinas Apure, M-140 en la Cuenca Maracaibo Falcón y M-568 en la Cuenca Oriental de Venezuela); con aguas meteóricas (M-1002 en la Cuenca Barinas Apure, M-630 en la Cuenca Maracaibo Falcón y M-985 en la Cuenca Oriental de Venezuela) con lo cual disminuye radicalmente la concentración de sólidos disueltos totales iniciales.

- Escenario 2: proceso de intercambio iónico de las muestras de agua meteórica con minerales ricos en cloruro de sodio, como halita (0,001 a 1 moles); cambiando su composición original.

- Escenario 3: a partir de la solución de mezcla de agua bicarbonatada sódica (90%) y clorurada sódica (10%), se incluyó una reacción de transformación de plagioclasas cálcicas que son alteradas a plagioclasas sódicas, con una posterior precipitación de calcita.

El escenario más congruente es el tercero, indica valores de SDT (ppm) menores a 1.000 ppm y concentraciones molares más similares a la muestra que se intentó reproducir (ej.: M-742, Figura 175). Partiendo de la mezcla 10/90 del Escenario 1, se añadió una etapa de intercambio catiónico mediante el bloque EXCHANGE (capacidad de intercambio = 0,5 mol). Las constantes de selectividad de Gaines-Thomas se tomaron por defecto de phreeqc.dat. Tras el intercambio, la solución resultante se equilibró con un ensamblaje mineral (EQUILIBRIUM_PHASES) que incluyó: calcita (SI = 0, precipitación), albita (SI = 0, permitida), anortita (SI = 0, 1 mol disponible para disolución), y caolinita (SI = 0). La albitización es un mecanismo sugerido por Freeze y Cherry (1979). Las incoherencias más notables con respecto a la muestra de interés en los escenarios adicionales son altas concentraciones de SDT y bajas concentraciones de bicarbonato, cloruro y/o sodio.

a)



b)

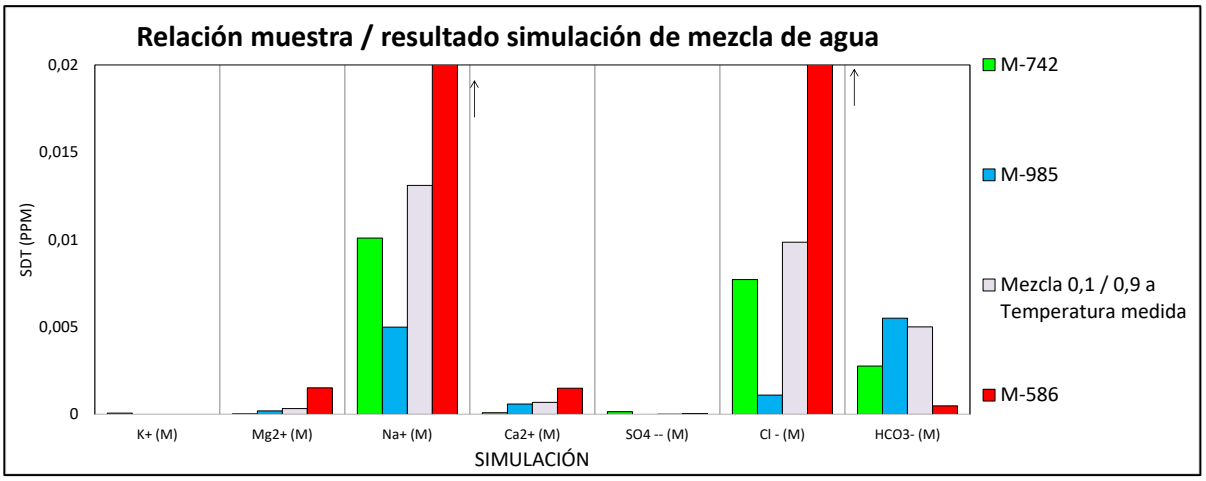


Figura 175. Gráfico de barras para el escenario 3 del caso 2 de simulación fisicoquímica de aguas cloruradas sódicas con SDT dulce, con el ejemplo para la Cuenca Oriental de Venezuela. Las barras de color rojo representan la concentración actual de una muestra connata o de formación en la Cuenca Oriental de Venezuela (M-586). Las barras de color azul representan la concentración actual de una muestra meteórica en la Cuenca Oriental de Venezuela (M-985). Las barras de color verde (M-742) representan la concentración actual de una muestra clorurada sódica con SDT inferior a 1000 ppm en la Cuenca Oriental de Venezuela. a) cantidad de sólidos disueltos totales en ppm que incluye las muestras M-985 y M-586 y las barras de SDT resultante de los distintos porcentajes de mezcla entre ellas, desde 10 al 90% de cada una y b) concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios que incluye las muestras M-985 y M-586, la mezcla 10/90% (color lila) resultante del escenario 3 y la muestra de referencia M-742.

VII. 1. 3 Caso 3. Evidencias de muestras cloruradas sódicas cercanas a agua de mar

Las muestras en superficie suelen ser de bajo tiempo de residencia y de composición mayoritariamente bicarbonatada sódica, ya que se relacionan con el intercambio del agua de lluvia con el dióxido de carbono presente en la atmósfera (Figura 173). En el caso 3, las muestras como M-469 y M-387 tienen características composicionales similares al agua de mar, pero se encuentran en el continente. Esta investigación prueba el origen de estas muestras como un proceso de mezcla de aguas de lluvia con aerosol marino y/o con agua de mar.

Las simulaciones planteadas incluyeron 2 escenarios:

- Escenario 1: mezcla de agua bicarbonatada sódica (M-993 en la Cuenca Oriental y M-402 en la Cuenca Maracaibo Falcón) con una composición de aerosol marino, tomadas de Calvo Gordaliza *et al*. (2009) y simulado en un porcentaje de mezcla desde el 10 hasta en 90%.

- Escenario 2: mezcla de la muestra bicarbonatada sódica M-402 y una muestra tomada del lago de Maracaibo M-22 (barras de color rojo, en la Figura 176). Simulado en un porcentaje de mezcla desde el 10 hasta en 90%.

La proporción 90% de agua bicarbonatada sódica (M-402) / 10% agua del Lago de Maracaibo (M-22) resultó ser el escenario más congruente con las muestras de interés (ej. M-469; trama de color morado en la Figura 176), puesto que reproduce concentraciones molares más similares a la muestra que se intentó reproducir (ej.: M-469, barras de color verde en la Figura 176). Todos los índices de saturación de fases evaporíticas resultaron marcadamente negativos (ejemplo: SI(Halita) = −6.12, SI(yeso) = −2.29, SI(calcita) = −0.86), confirmando la ausencia de precipitación forzada y la naturaleza de mezcla conservativa del proceso.

Liu *et al*. (2017) plantea este tipo de intercambio en áreas cercanas a cuerpos de agua salinos. Las incoherencias más notables con respecto a la muestra de interés en el escenario 1 es la baja concentración de SDT.

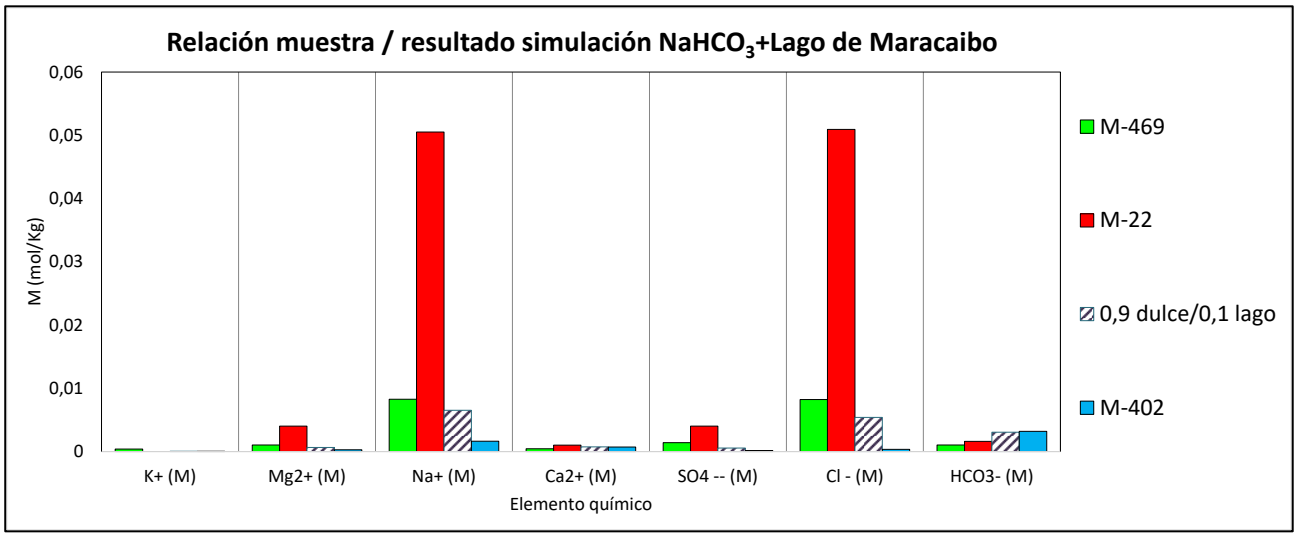


Figura 176. Gráfico de barras de las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el escenario 2 del caso 3 de simulación fisicoquímica de aguas cloruradas sódicas en el continente. Las barras de color verde representan la concentración actual de una muestra clorurada sódica en la Cuenca Maracaibo Falcón (M-469). La barra de color azul representa la concentración actual de una muestra bicarbonatada sódica con SDT inferior a 1.000 ppm en la Cuenca Maracaibo Falcón (M-402). Las barras de color rojo representan la concentración del Lago de Maracaibo (M-22). Las barras con rayas moradas son el resultado de la concentración una mezcla hipotética en un porcentaje 90/10.

VII. 1. 4 Caso 4. Evidencias de muestras sulfato sódicas a una profundidad de 6.000-9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros)

Las aguas sulfatadas sódicas no tienen una relación directa con el tiempo de residencia de la muestra sino con las condiciones fisicoquímicas del medio. El aporte de sulfatos puede provenir de la disolución de minerales como yeso y/o anhidrita y/o por la oxidación de minerales accesorios como la pirita. En el caso 4, el objetivo fue simular condiciones fisicoquímicas que permitirían variar de composiciones más comunes como bicarbonatada sódica o clorurada sódica a facies sulfatadas sódicas. Para la Cuenca Barinas Apure se tiene como ejemplo las muestras salobres M-32, M-76

(barras de color verde, en la Figura 177) y M-199 presentes en el intervalo de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros). Para la Cuenca de Maracaibo Falcón se tiene como ejemplo las muestras M-291 y M-399 ubicadas en superficie o en el intervalo de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros). Y para la Cuenca Oriental se tiene la muestra M-241 captada en el intervalo de 0 a 1000 pies.

Las simulaciones planteadas incluyeron 4 escenarios:

- Escenario 1: muestra de agua bicarbonatada sódica salobre (M-863) en reacción con yeso, anhidrita y/o pirita en concentraciones de 0,005 M. Simulada en un rango de temperatura de 25°C a 150°C; sin cambios relevantes en las concentraciones de los iones.

- Escenario 2: muestra clorurada sódica salobre (M-75, barras de color vinotinto), equilibrada con dolomita para estabilizar el índice de saturación a cero (barras de color rojo), en mezcla con agua meteórica pura (muestra de Oklahoma de la base de datos de PHREEQC, barras de color azul).

El escenario más congruente fue el segundo, un proceso de mezclas entre aguas con una concentración relativa de sulfato superior al resto y un agua meteórica de precipitación. Las concentraciones de sólidos disueltos totales y de iones mayoritarios son similares a las muestras de referencia (ej.: M-76, Figura 177). Las incoherencias más notables con respecto a la muestra de interés en los escenarios adicionales son altas concentraciones de sodio y cloruro.

El proceso fisicoquímico que estaría ocurriendo, sería oxidación de pirita, que conlleva a aumentar la concentración de sulfatos y a la disminución del bicarbonato. Se utilizó M-75 como miembro final salino de alta concentración de sulfato. Esta solución fue preequilibrada con dolomita (EQUILIBRIUM_PHASES, SI = 0) antes de la mezcla. El segundo miembro fue el agua meteórica tipo Oklahoma. Se evaluaron nueve proporciones de mezcla de 10/90 a 90/10 (M-75/meteórica) mediante el bloque MIX. Este escenario exploró si la dilución progresiva de una salmuera sulfatada profunda puede reproducir las concentraciones de SO_4^{2-} intermedias observadas en las muestras objetivo. Proporciones bajas de M-75 (10–30%) generaron concentraciones de SO_4^{2-} en el rango de 120–360 mg/L con SDT <1.000 ppm, pero con Cl^- sistemáticamente elevado respecto a las muestras sulfatadas sódicas puras de la facies objetivo. La caracterización de procesos geoquímicos de óxido reducción y disolución, desarrollada por Schroder *et al*., (2020) valida que la interacción de flujos meteóricos con horizontes ricos en sulfuros es capaz de reconfigurar los fondos geoquímicos locales hacia firmas enriquecidas en sulfatos, sin necesidad de incorporar un aporte de sodio y cloruro.

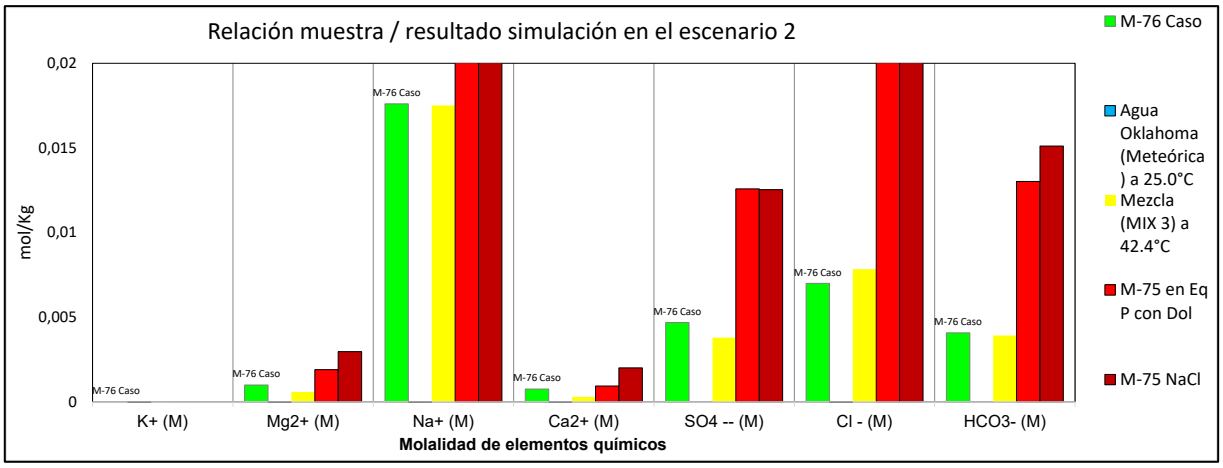


Figura 177. Gráfico de barras de las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el escenario 2 del caso 4 de simulación fisicoquímica de aguas sulfatadas sódicas. Las barras de color amarillo son el resultado de la simulación con un proceso de mezcla entre aguas clorurada sódicas y aguas meteóricas. Las barras de color verde pertenecen a la muestra de referencia (M-76). Las barras de color rojo y vinotinto son de la muestra M-75 clorurada sódica inicial y luego de la simulación de IS=0 para dolomita. Las barras de color azul son del agua meteórica tomada de la base de datos de PHREEQC.

VII. 1. 5 Caso 5. Evidencias de muestras enriquecidas en la concentración de potasio en relación con la concentración de sodio

Las aguas terrestres suelen estar enriquecidas en los iones con una mayor abundancia en la superficie y con mayor movilidad en el medio acuoso; es por ello, que como en la mayoría de las muestras en la base de datos de esta investigación, el catión mayoritario suele ser el sodio; sin relación directa con la profundidad (Figura 178). La movilidad del ion potasio suele ser superior a la del ion sodio; sin embargo, la abundancia del sodio en los medios acuosos es superior a la de potasio (Davis y De Wiest, 1971 y Custodio y LLamas, 1976). Contrariamente, en el caso propuesto número 5, las muestras de agua como M-46 y M-460, son muestras donde la concentración de potasio es superior a la del sodio.

Las simulaciones planteadas incluyeron dos escenarios:

- Escenario 1: Muestra enriquecidas en sodio como M-893, colocadas en fases de equilibrio primero con cuarzo para incluir sílice al sistema y luego con minerales con IS superiores a 0: albita, calcita y dolomita; para culminar con una reacción con minerales potásicos como ortoclasa y/o microclino, moscovita e ilita en una concentración 0,05 M, presentes en las cuencas evaluadas (Tabla 7, Tabla 10 y Tabla 24).

- Escenario 2: Muestra enriquecida en sodio y cloro como M-895 (barras de color rojo, Figura 178b) colocadas en un intercambio iónico con arcillas enriquecidas en calcio y magnesio que luego entra en fase de equilibrio donde podría precipitar calcita y disolverse la anhidrita.

- Adicionalmente, se ubicaron las muestras de referencia y los resultados de las simulaciones en un gráfico de correlación con la curva de evaporación esperada para agua de mar (Figura 179) y todas las muestras se encuentran en el lado derecho del gráfico, indicando que el potasio no se encuentra relacionado con el aumento en la concentración de cloro.

El escenario 2 fue más congruente a la muestra que se intentó reproducir (ej.: M-46, Figura 178), partiendo de la muestra M-885. Este escenario implementó una estrategia en cuatro etapas. En la primera etapa, M-895 (agua clorurada sódica) fue equilibrada con calcita, dolomita y aragonito (EQUILIBRIUM_PHASES, SI = 0) para precipitar los carbonatos supersaturados, produciendo Na^+ y reduciendo Ca^{2+}. En la segunda etapa se definió el ensamblaje de intercambio (EXCHANGE) con carga inicial fuertemente potásica: KX = 0,55 mol, CaX_2 = 0,25 mol, MgX_2 = 0,065 mol, NaX = 0,0005 mol, representando una arcilla illítica de formación enriquecida en K^+ por diagénesis avanzada. Las constantes de selectividad de Gaines-Thomas se tomaron por defecto de phreeqc.dat. En la tercera etapa, la solución post-carbonática se puso en contacto simultáneo con el ensamblaje de intercambio y con un conjunto de fases minerales (EQUILIBRIUM_PHASES): cuarzo, anhidrita, calcita y CO_2(g).

Se puede llevar cuantitativamente la transferencia neta de K^+ del sólido hacia la solución con fijación de Na^+ en los sitios activos de la arcilla, manteniendo Cl^- como trazador conservativo. Por lo cual, los proceso hidrogeoquímicos de intercambio iónico con arcillas permiten la inversión geoquímica de sodio a potasio y el ajuste del resto de los elementos mayoritarios y casos similares, que han sido modelados por Duan *et al*., (2024).

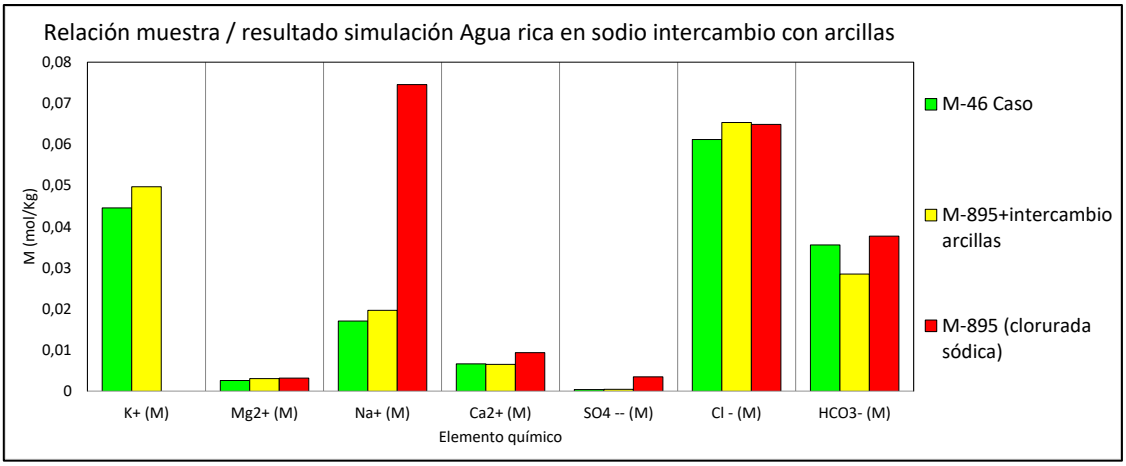


Figura 178. Gráfico de barras con las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el escenario 2 del caso 5 de simulación fisicoquímica de aguas potásicas. Las barras de color verde representan una muestra actual con alto contenido de potasio (M-46). Las barras de color amarillo son el resultado de la simulación. Las barras de color rojo pertenecen a la muestra clorurada sódica utilizada (M-895).

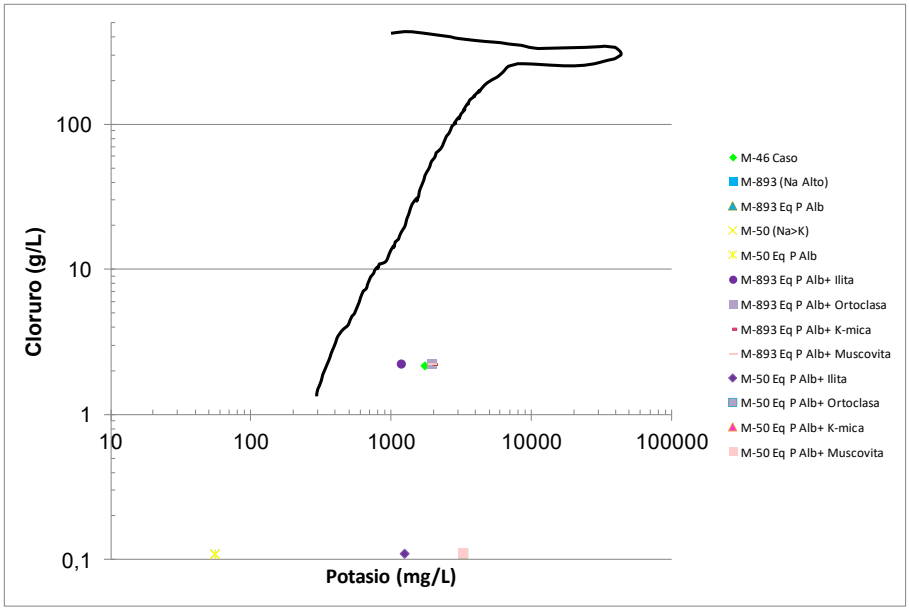


Figura 179. Gráfico de dispersión en Collins (1975) con la concentración de cloro (g/L) y la concentración de potasio (mg/L) de las muestras de referencia y los resultados de las simulaciones, con referencia de la curva de evaporación.

VII. 1. 6 Caso 6. Muestras cloruradas cálcica por intercambio iónico

El análisis hidrogeoquímico del Caso 6 evalúa el origen sedimentario y diagenético de las salmueras cloruradas cálcicas ($CaCl_2$), representadas en la cuenca por las muestras M-11, M-229 y M-850. Clásicamente, estas facies se asocian a aguas de formación fósiles entrampadas durante la depositación, cuya firma química original sufrió modificaciones severas por interacción agua-roca a lo largo del tiempo geológico. Para evaluar los mecanismos de alteración, se modelaron cuatro escenarios independientes:

- Escenario 1 (disolución estática): muestra clorurada sódica como M-82 o M-61 que se encuentra en reacción con minerales enriquecidos en calcio, como calcita, anortita, yeso y/o anhidrita.

- Escenario 2 (mezcla de fluidos): proceso de mezcla entre un agua clorurada sódica como M-61 con una muestra sulfatada cálcica como M-1001.

- Escenario 3 (precipitación forzada): precipitación de minerales enriquecidos en sodio como halita o montmorillonita, de acuerdo con lo que se visualiza en el diagrama de Schoeller (1977) de las muestras M-59 y M-86, donde lo que puede existir es un empobrecimiento en el ion sodio.

- Escenario 4 (intercambio catiónico dinámico): intercambio catiónico y dinámico con las arcillas en el medio. A partir de la muestra clorurada sódica M-61 se puso en intercambio con moles de calcio, magnesio y sodio.

Los resultados del modelado dinámico para el Caso 6 (Escenario 4, Figura 180, barras de color amarillo) postulan que el intercambio catiónico con la fracción arcillosa del reservorio puede ser el mecanismo principal responsable de la génesis de las salmueras cloruradas cálcicas ($CaCl_2$) en la cuenca, validando las observaciones de las muestras de referencia M-11, M-229 y M-850 (barras de color verde). Al interactuar la salmuera connata altamente sódica (M-61) con una matriz enriquecida en calcio, se genera un proceso de sustitución iónica a gran escala. Termodinámicamente, el modelo muestra una disminución de la concentración de sodio en solución, quedando fijado en los sitios activos de las arcillas (NaX) y la consecuente liberación estequiométrica de Ca^{2+} y Mg^{2+} hacia el fluido libre, manteniendo el ion cloruro como un trazador conservativo, este tipo de simulaciones han llegado a aguas cloruradas cálcicas para Kharaka y Hanor (2003). Los resultados de las simulaciones termodinámicas revelan que los procesos estáticos de disolución, mezcla y precipitación (Escenarios 1, 2 y 3) son insuficientes para justificar la fuerte anomalía de calcio y el marcado déficit de sodio observados en las muestras de referencia.

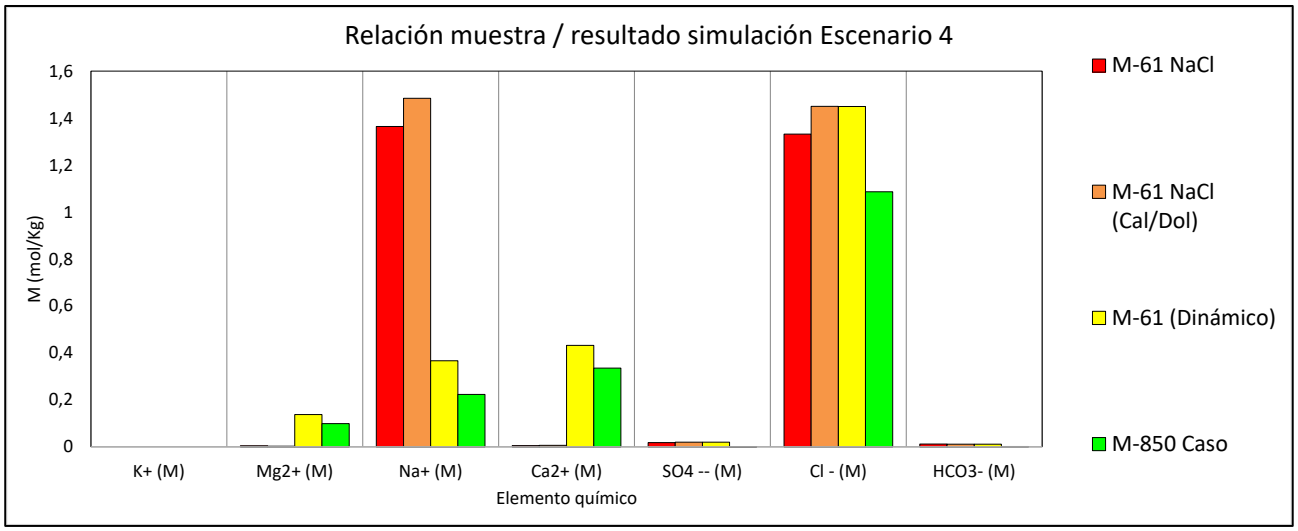


Figura 180. Gráfico de barras para las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el escenario 4 del caso 6 de simulación fisicoquímica de aguas cloruradas cálcicas. La barra de color verde se refiere a una muestra clorurada cálcica (M-850). La muestra clorurada sódica (M-61), presenta barras de color rojo. Las barras de color naranja son el resultado de la simulación de precipitación de calcita y dolomita cuyos IS>0 para la muestra M-61. Las barras de color amarillo son el resultado de la simulación de un intercambio iónico en un medio arcilloso.

VII. 1. 7 Caso 7. Muestras cloruradas magnésica por intercambio iónico

En el caso 7, se tienen muestras cloruradas magnésicas como M-429 y M-846 (barras de color verde), las cuales, considerando procesos de intercambio iónico con minerales caja y/o procesos de mezcla de aguas podría partir de aguas con composiciones diversas.

Las simulaciones planteadas incluyeron 4 escenarios:

- Escenario 1 (disolución estática): muestras cloruradas sódicas como M-82 y M-406, que se encuentran en reacción con minerales enriquecidos en magnesio y presentes en la Cuenca Oriental como dolomita en una concentración 0,1 M.

- Escenario 2 (mezcla de fluidos): proceso de mezcla entre un agua clorurada sódica como M-82 o M-406 con una muestra sulfatada magnésica como M-640. Con porcentajes desde el 10 al 90%.

- Escenario 3 (precipitación forzada): precipitación de minerales enriquecidos en sodio como halita y montmorillonita, ya que de acuerdo con lo que se visualiza en el diagrama de Schoeller (1977) de las muestras M-429 y M-846 donde lo que puede existir es un empobrecimiento en el ion sodio.

- Escenario 4 (intercambio con arcillas): intercambio catiónico y dinámico con las arcillas en el medio. A partir de la muestra clorurada sódica M-406 o M-82 (ambas con barras de color rojo), se generó la mezcla con el agua sulfatada magnésica en la proporción necesaria, se puso en intercambio con moles de calcio, magnesio y sodio y se consideró la precipitación de anhidrita y calcita.

Los resultados del modelado dinámico para el Caso 7 (Escenario 4, Figura 181, barras de color amarillo y con rayas rojas) postulan que el intercambio catiónico con la fracción arcillosa del reservorio puede ser el mecanismo principal responsable de la génesis de las salmueras cloruradas magnésicas ($MgCl_2$) en la cuenca, validando las observaciones de la muestra de referencia M-846 (barras de color verde). Al interactuar la mezcla de fluido precursora (derivada de M-406/M-82, y M-640) con una matriz enriquecida en magnesio, se genera un proceso de sustitución iónica a gran escala. Termodinámicamente, el modelo muestra una disminución de la concentración de sodio en solución, quedando fijado en los sitios activos de las arcillas (NaX) y la consecuente liberación estequiométrica de Mg^{2+} hacia el fluido libre, manteniendo el ion cloruro como un trazador conservativo y esto ha sido evaluado por Knauth (1988) en otras cuencas. Los resultados de las simulaciones termodinámicas revelan que los procesos estáticos de disolución, mezcla y

precipitación forzada (Escenarios 1, 2 y 3) son insuficientes para justificar la fuerte anomalía de magnesio y el marcado déficit de sodio observados en la muestra de referencia.

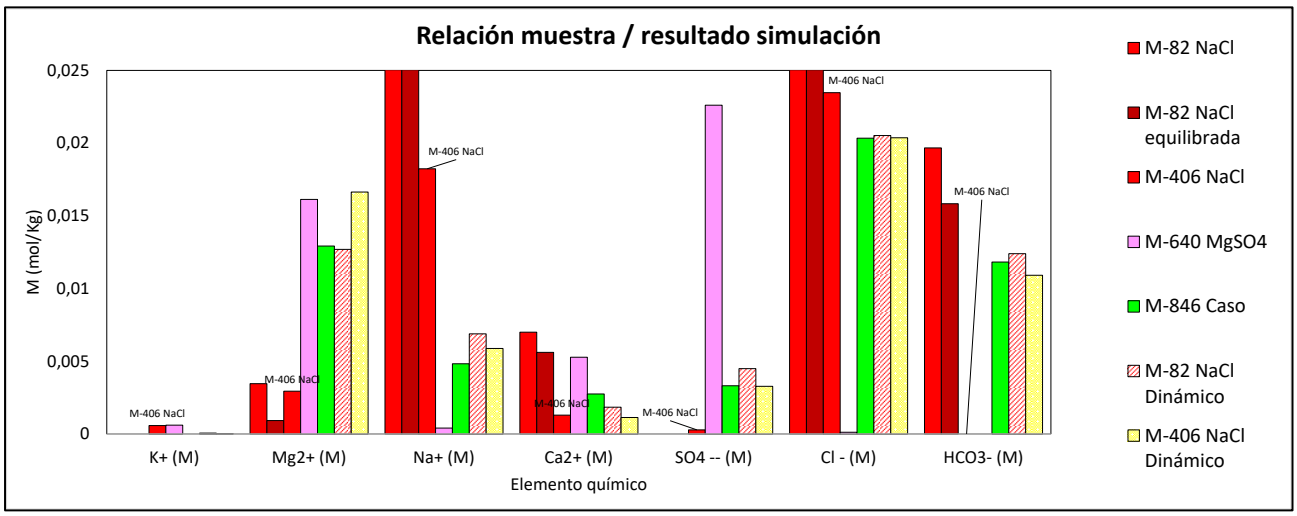


Figura 181. Gráfico de barras de las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el escenario 4 del caso 7 de simulación fisicoquímica de aguas cloruradas magnésicas. La barra de color verde se refiere a una muestra clorurada magnésica (M-846). Las barras de color amarillo se refieren a una muestra simulada con intercambio catiónico desde la muestra M-406. Las barras de color rojo con rayas se refieren a una muestra simulada con intercambio catiónico desde la muestra M-82. Las barras de color rojo son las concentraciones de las muestras cloruradas sódicas M-406 y M-82. Y las barras de color lila son las concentraciones de una muestra sulfatada magnésica (M-640).

VII. 1. 8 Caso 8. Muestras bicarbonatadas cálcicas por intercambio iónico

Las aguas bicarbonatadas sódicas suelen relacionarse con aguas meteóricas con bajo contenidos de sólidos disueltos. Sin embargo, existen procesos de disolución mineral que transforman su composición. El caso 8, se tienen muestras bicarbonatadas cálcicas como M-994 (barras de color verde) o M-460, para las cuales existe más de un proceso que pudiera permitir obtener ese resultado.

Las simulaciones planteadas incluyeron 4 escenarios:

- Escenario 1: muestra bicarbonatada sódica como M-993, que se encuentra en reacción con minerales enriquecidos en calcio y presentes en las cuencas como: calcita, anortita, yeso y/o anhidrita.

- Escenario 2: en el segundo escenario se consideró un proceso de mezcla entre un agua bicarbonatada sódica como M-993, con una muestra sulfatada cálcica como M-1001.

- Escenario 3: precipitación de minerales enriquecidos en sodio como halita o montmorillonita ya que de acuerdo con lo que se visualiza, en el diagrama de Schoeller (1977), de las muestras M-994 y M-460, lo que puede existir es un empobrecimiento en el ion sodio.

- Escenario 4: Se combinaron una serie de procesos para ir alcanzando la composición de la muestra de referencia, incluyendo, proceso de mezcla, intercambio con arcillas y fases de equilibrio.

Los resultados del modelado hidrogeoquímico optimizado para el Caso 8 (Figura 182) indican que el escenario 4 produce convergencia matemática y geológica con la muestra de referencia M-994. Está implementado en cinco etapas, y sugiere que la génesis de las aguas bicarbonatadas cálcicas en la cuenca responde a un modelo mixto hidrodinámico y reactivo acoplado. La convergencia de ambos sub-modelos — desde M-993 hacia facies $CaHCO_3$ sin exceso sulfatado, y desde M-411 hacia facies $CaSO_4$ con Ca^{2+} dominante — demuestra que el mecanismo de reequilibrio iónico mixto (mezcla + intercambio catiónico + buffer carbonático) pudo gobernar la génesis de estas facies cálcicas maduras en ambientes de subsuelo, en acuerdo con las ecuaciones de selectividad y los balances de solutos estandarizados por Hounslow (2018). El Cl^- se mantuvo conservativo en ambos escenarios, validando su función de trazador del proceso.

La perfecta convergencia matemática y geológica de este modelo integrado propone a la muestra M-993 como el ancestro genético directo de las facies representadas por la muestra de referencia M-994 (barras de color verde). Este mecanismo de reequilibrio iónico mixto se alinea con las ecuaciones de selectividad y los balances de solutos estandarizados por Hounslow (2018), demostrando cómo la interacción combinada de frentes de mezcla y reactividad mineral gobierna la estabilización de facies cálcicas maduras en ambientes de subsuelo.

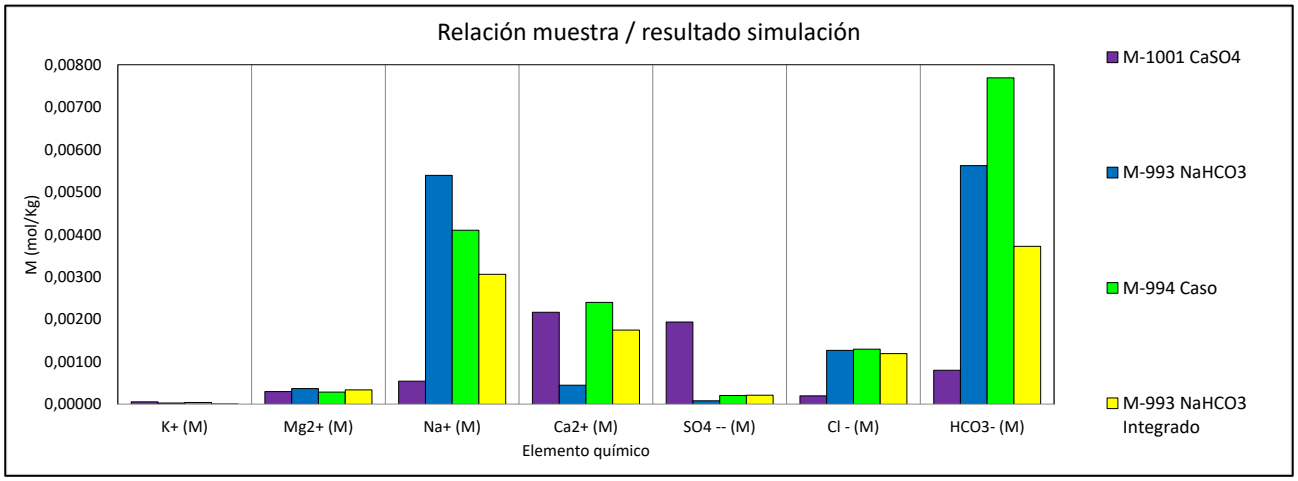


Figura 182. Gráfico de barras de las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el escenario 4 del caso 8 de simulación fisicoquímica de aguas bicarbonatadas cálcicas. Las barras de color verde se refieren a una muestra bicarbonatadas cálcicas (M-994). Las

barras en color azul son referentes de la concentración de la muestra de origen bicarbonatada sódica (M-993) y las barras de color amarillo son el resultado de la simulación integrada.

VII. 1. 9 Caso 9. Muestras bicarbonatadas magnésicas por intercambio iónico

En el caso 9, se tienen muestras bicarbonatadas magnésicas como M-111, M-323, M-723 (barras de color verde claro, Figura 183) y M-728, para las cuales podría existir más de un proceso que permita obtener ese resultado.

Las simulaciones planteadas incluyeron 4 escenarios:

- Escenario 1: muestra bicarbonatada sódica como M-725 (barras de color azul claro), que se encuentra en reacción con minerales enriquecidos en magnesio y presentes en las cuencas como dolomita (Tabla 10) que modifican la composición original de la muestra.

- Escenario 2: proceso de mezcla entre un agua bicarbonatada sódica como M-725 con una muestra clorurada magnésica como M-429.

- Escenario 3: precipitación de minerales enriquecidos en sodio como halita o montmorillonita, ya que de acuerdo con lo que se visualiza en el diagrama de Schoeller (1977) de las muestras M-723 y M-728 en relación con las muestras cercanas como M-725, lo que puede existir es un empobrecimiento en el ion sodio.

- Escenario 4 (intercambio con arcillas): intercambio catiónico y dinámico con las arcillas en el medio. A partir de la muestra bicarbonatada sódica M-725, se generó la mezcla con el agua clorurada magnésica en la proporción necesaria, se puso en intercambio con moles de calcio, magnesio y sodio y se consideró la precipitación de anhidrita y calcita.

Al comparar la muestra de referencia con los modelos estáticos, se evidencia que ni la disolución de dolomita (Escenario 1), ni la mezcla (Escenario 2), ni la precipitación (Escenario 3) logran abatir el alto contenido de sodio original sin destruir el balance aniónico. Esto indica que la facies bicarbonatada magnésica es más probable del producto de un proceso dinámico de intercambio catiónico, donde la matriz del reservorio remueve activamente el sodio y aporta magnesio durante la migración del fluido (Figura 183).

La estrategia se implementó en cuatro etapas. Primera: mezcla 88%/12% de M-725 con M-846 mediante MIX. Segunda: se definió el ensamblaje de intercambio (EXCHANGE) con carga inicial magnésica: CaX_2 = 0,01 mol, MgX_2 = 0,90 mol, NaX = 0,09 mol. Tercera: contacto simultáneo de la mezcla con el ensamblaje de intercambio y EQUILIBRIUM_PHASES: calcita (SI = 0), dolomita (SI = 0) .

El estado final del ensamblaje de intercambio mostró la transferencia neta de Mg^{2+} desde la arcilla al fluido con fijación de Na^{+}. El Cl^{-} permaneció conservativo, proceso coherente con la desdolomitización parcial del reservorio bajo condiciones de confinamiento. La dinámica de interacción entre fluidos de formación confinados y redes de permeabilidad secundaria en reservorios activos, que acelera el intercambio catiónico observado en este caso, ha sido documentada operacionalmente por Díaz y Díaz (1996).

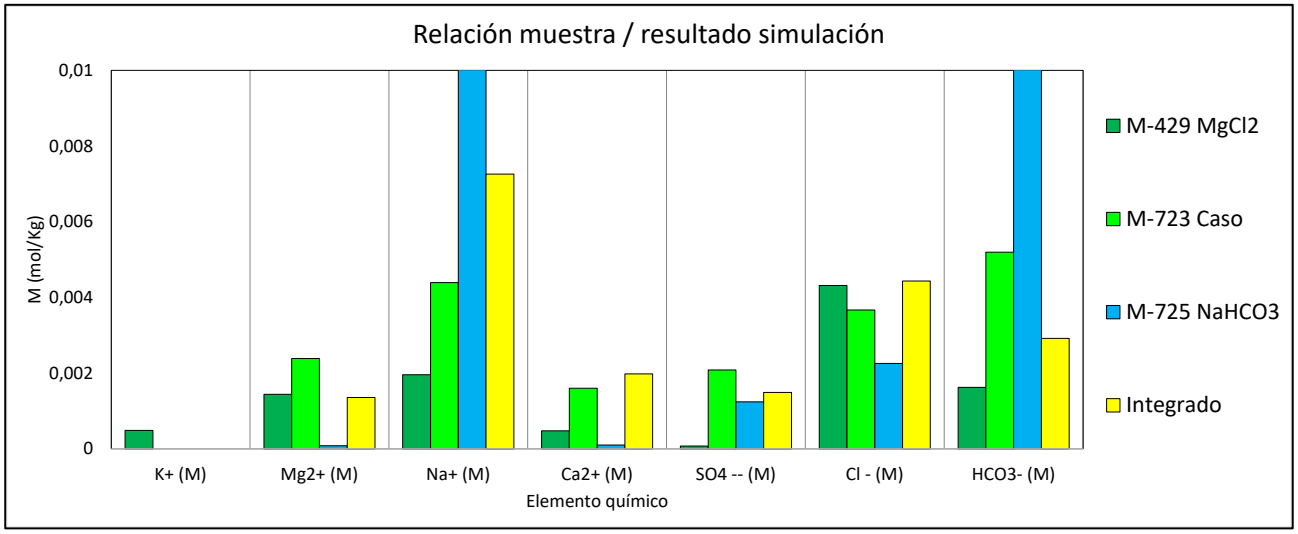


Figura 183. Gráfico de barras con las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el escenario 4 del caso 9 de simulación fisicoquímica de aguas bicarbonatadas magnésicas. Las barras de color verde claro se refieren a una muestra bicarbonatada magnésica (M-723). Las barras de color verde oscuro se refieren a una muestra de agua clorurada magnésica (M-429) y las barras de color azul se refieren a una muestra de agua bicarbonatada sódica (M-725). Las barras de color amarillo son el resultado de las simulaciones fisicoquímicas.

VII. 1. 10 Caso 10. Muestras con sólidos disueltos totales menores a mayor profundidad

Al considerar que las muestras de agua almacenadas al momento de la sedimentación presentan características connatas y alto contenido de sólidos disueltos; es de esperar, que a mayores profundidades existan muestras con mayores contenidos de sólidos disueltos. En el caso 10, se tienen muestras o lugares, donde la salinidad disminuye o se mantiene con la profundidad. Ejemplo: en la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez Frías” en el rango de profundidades de 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros) existen facies cloruradas sódicas salobres, salinas y salmueras (ej.: M-324) y luego en el rango de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros) existen éstas mismas facies (ej.: M-315) y aguas bicarbonatadas sódicas salobres (ej.: M-312) como se muestra en la Figura 184.

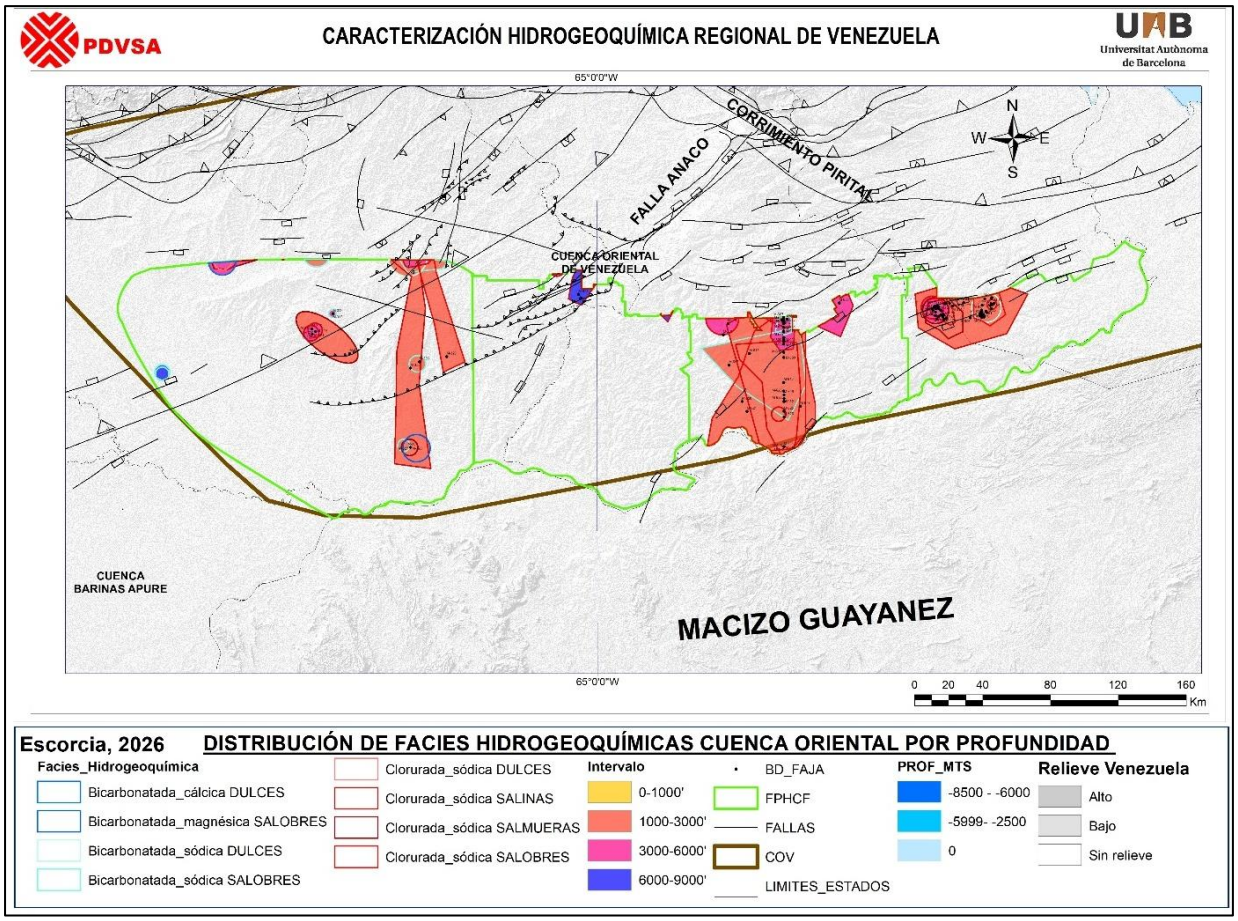


Figura 184. Facies hidrogeoquímicas caracterizadas en el área de la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías", donde se pueden identificar muestras con salinidades inferiores en intervalos más profundos.

Las simulaciones planteadas incluyeron 2 escenarios para las dos muestras:

- Escenario 1: proceso de mezcla entre aguas de mayor salinidad con aguas de menor salinidad, que se encuentran desconectadas a nivel estructural; es decir, son reservorios independientes donde el proceso de mezcla sólo ocurre a niveles inferiores; sin cambiar la composición de los reservorios superiores (M-324). Para obtener la muestra M-312 se tomaron las muestras M-319 y la muestra M-798 y para obtener la muestra M-316 se tomaron las muestras M-239 y M-818.

- Escenario 2: muestras de baja salinidad M-798 o M-818, en contacto con minerales presentes en las litologías caja como halita, calcita, dolomita o yeso. Este segundo escenario buscó simular las características originales del agua de formación. De acuerdo con la información paleobatimétrica y las reconstrucciones geodinámicas, el área de la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías", ha sido, en el tiempo geológico, un área de ambientes continentales a transicionales con una baja columna de agua y con una baja actividad tectónica; por tanto, las aguas de formación pudieran referirse a aguas fósiles donde el contenido de sólidos disueltos totales es alta; sin embargo, su composición puede variar (Figura 185).

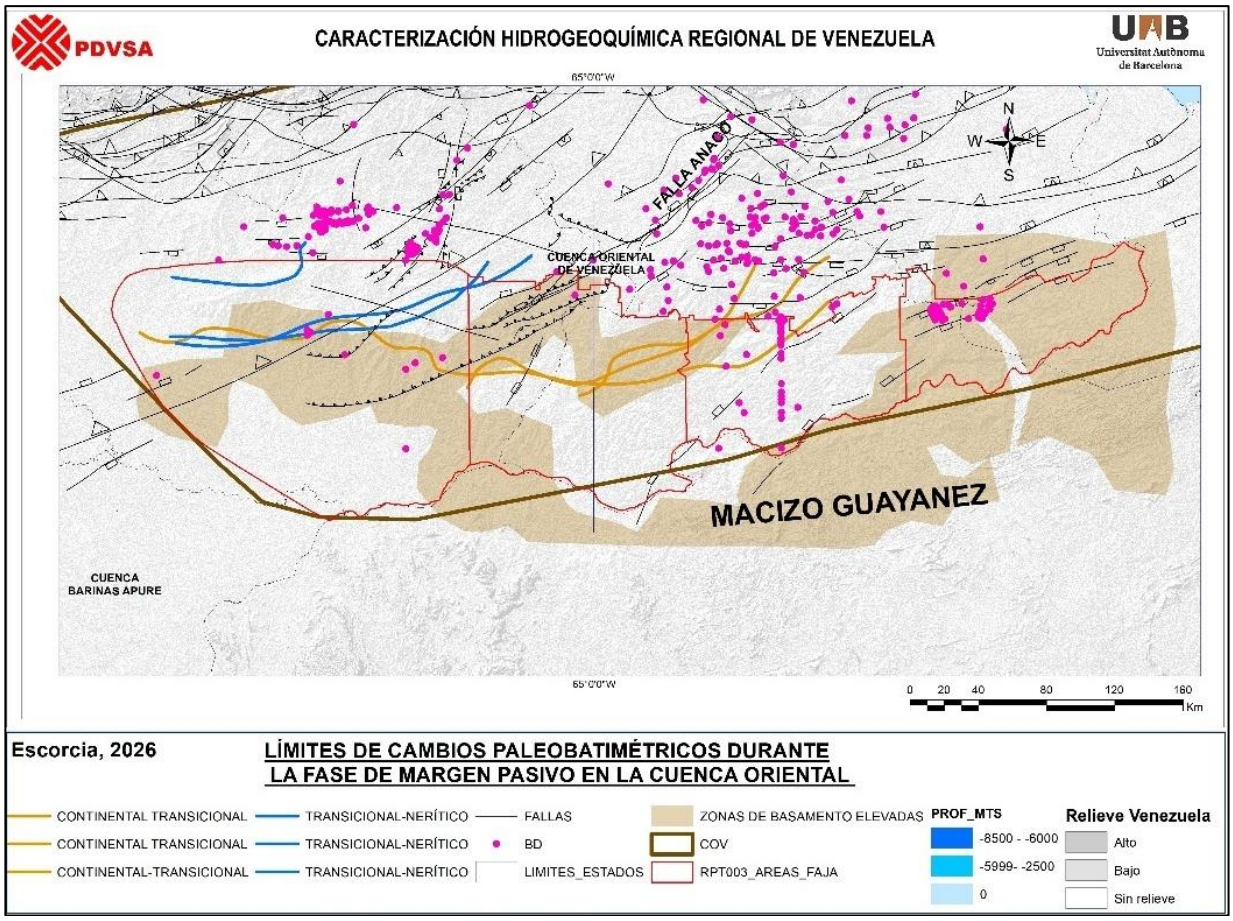
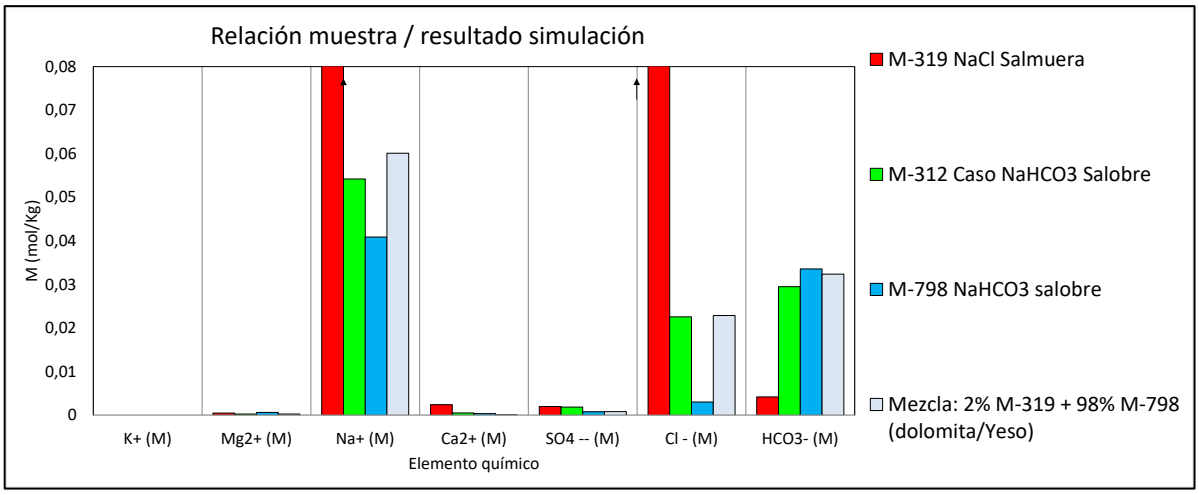


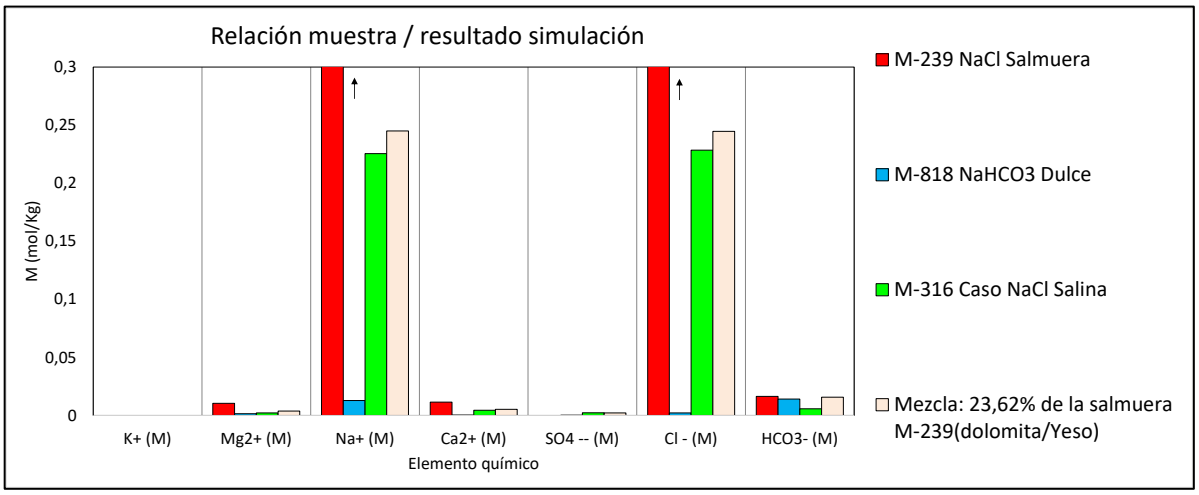
Figura 185. Límites de superficies de inundación regionales de los eventos de depositación asociados a las Unidades Depositacionales de la tectonosecuencia 3 en la Cuenca Oriental de Venezuela y áreas levantadas estructuralmente de acuerdo con mapas gravimétricos, donde se pudieran acumular las aguas fósiles.

Para la muestra bicarbonatada sódica M-312 salobre se reproduce con el escenario de mezcla entre aguas bicarbonatadas y cloruradas en una proporción 98%/2%, con una posterior disolución de dolomita y precipitación de yeso. Ello implica que el proceso de dilución de la muestra caja ha sido casi completo (Figura 186a). Para la muestra M-316, ambos escenarios son posibles: un proceso de mezcla con una proporción 23%/67% entre las aguas cloruradas y bicarbonatadas, con una posterior disolución de dolomita y precipitación de yeso; y un proceso de intercambio iónico con minerales de la roca caja a partir de una muestra bicarbonatada sódica (Figura 186b). El origen del miembro final de baja salinidad encuentra sustento conceptual en los fenómenos de entrampamiento paleohidrogeológico descritos por Post *et al*. (2013), donde frentes meteóricos relictos permanecen preservados bajo condiciones de soterramiento profundo en márgenes costeros e intercontinentales.

a)



b)



c)

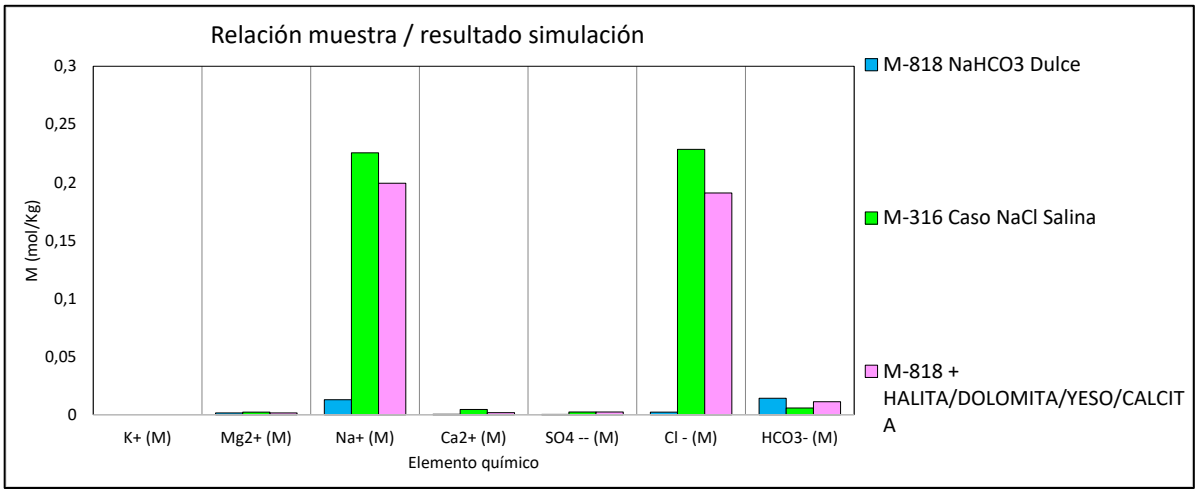


Figura 186. Gráfico de barras de las concentraciones en mol/Kg de los elementos químicos mayoritarios para el caso 10 de simulación fisicoquímica de aguas con salinidades menores en función de la profundidad. a) escenario 1, desde la muestra de referencia bicarbonatada sódica (M-312) identificada con las barras de color verde, donde: las barras de color azul son de una muestra $NaHCO_3$ salobre (M-798), las barras de color rojo son de una muestra NaCl salmuera (M-319) y las barras de color azul claro son el resultado de la mezcla con posterior disolución de dolomita y precipitación de yeso; b) escenario 1, desde una muestra de referencia clorurada sódica (M-316) identificada con las barras de color verde, donde: las barras de color azul son de una muestra $NaHCO_3$ (M-818), las barras de color rojo son de una muestra NaCl salmuera (M-239) y las barras de color rosado claro son el resultado del proceso de mezcla con posterior disolución de dolomita y

precipitación de yeso y c) escenario 2, donde: las barras de color azul son de una muestra $NaHCO_3$ (M-818) y las barras de color morado son el resultado de la simulación con un intercambio iónico con halita, dolomita, yeso y calcita.

VII. 2. Modelo estático de las facies hidrogeoquímicas para precipitación de fases minerales en diferentes temperaturas

El índice de saturación de una especie mineral es una medida adimensional, que proporciona información sobre la posibilidad o no de precipitación, que tiene un mineral en específico; determinado en base a la actividad (~concentración) de los elementos químicos de una solución acuosa (Ecuación 11). En la naturaleza, al momento que ciertos elementos químicos alcanzan concentraciones de saturación, se generan cementos, que ocluyen porosidades preexistentes de los reservorios y/o generan problemas operacionales en la perforación de pozos.

En esta investigación, se consideró realizar modelos de especiación de cada una de las facies (y subfacies) descritas previamente por cuenca geológica; incluyendo las variaciones de salinidad y el intervalo de profundidad donde fue tomada la muestra. El resultado fueron 203 muestras seleccionadas: 13 para la Cuenca Barinas Apure, 78 para la Cuenca Maracaibo Falcón y 112 simulaciones para la Cuenca Oriental de Venezuela.

La simulación se realizó a partir del programa PHREEQC, y el objetivo fue visualizar los índices de saturación de minerales comunes como anhidrita, calcita, dolomita, yeso y halita. Se consideraron casos adicionales donde se varió la temperatura de reacción, a fin de evaluar cómo sería el comportamiento con cambios termodinámicos. Los resultados de las simulaciones termodinámicas indican que en ningún caso existen condiciones favorables para la saturación de la fase mineral halita.

En el análisis de minerales carbonáticos, es relevante destacar que la estabilidad del aragonito suele asociarse a regímenes de alta presión y temperatura, siendo inherentemente más soluble que la calcita en condiciones ambientales (Tabla 2). En consecuencia, una solución saturada en aragonito se encuentra termodinámicamente sobresaturada en calcita, es decir, la presencia de aragonito requiere de mecanismos de inhibición cinética que impidan la nucleación preferencial de la calcita, o bien la coexistencia de ambos procesos de precipitación (Morse *et al.*, 2007).

Además, es fundamental considerar la relación genética entre yeso y anhidrita: el yeso representa la fase hidratada estable en condiciones de baja temperatura (típicamente hasta 40°C), mientras que la anhidrita constituye la fase deshidratada dominante a mayores profundidades y temperaturas (Tabla 2). Aunque la transición entre ambas es una reacción reversible influenciada por la actividad

del agua, los resultados sugieren que, en los intervalos profundos de la cuenca, la anhidrita es la fase mineralógica con mayor probabilidad de ocurrencia diagenéticas (Blount y Dickson, 1973). En soluciones con salinidades extremas (salmueras profundas), la alta concentración de cloruro de sodio reduce drásticamente la actividad del agua. Debido a que la transición yeso-anhidrita depende no solo de la temperatura, sino también de la disponibilidad de moléculas de agua para la estructura cristalina, la sobresaturación iónica en estas salmueras puede desplazar los equilibrios termodinámicos. Este comportamiento sugiere que, en los intervalos más profundos de la cuenca, la elevada carga iónica permite que el yeso alcance el umbral de saturación incluso en condiciones térmicas donde normalmente sería inestable, compitiendo con la precipitación de la anhidrita (Harvie *et al*., 1984).

VII. 2. 1 Cuenca Barinas Apure

El modelado de especiación química aplicado a las nueve facies hidrogeoquímicas de la Cuenca Barinas Apure permitió determinar el estado de equilibrio de la fase acuosa respecto a los minerales anhidrita, aragonito, calcita, dolomita, goetita y hematita, identificando potenciales procesos de precipitación. La descripción de los resultados se realizó de manera individualizada por fases minerales comunes, primero en base a la temperatura de las muestras y luego en base al rango de temperatura simulado.

Condiciones termodinámicas para la precipitación de anhidrita

El análisis de especiación química realizado en muestras representativas de la Cuenca Barinas Apure, específicamente en el intervalo de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), indica que algunas concentraciones iónicas de Ca^{2+} y SO_4^{-2} son teóricamente suficientes para alcanzar la saturación de anhidrita. En este contexto, las facies 1) clorurada sódica diluida salobre (Figura 102) y 2) clorurada-sulfatada sódica salobre (Figura 104) se identificaron como las únicas sensibles a este proceso; sin embargo, la transición hacia un estado de sobresaturación que permita la precipitación de anhidrita solo ocurriría si la temperatura de la solución excediera los 150°C. Por consiguiente, dado que las temperaturas captadas *in situ* se encuentran por debajo de este umbral crítico, se concluye que las condiciones termodinámicas actuales del yacimiento no son favorables para la precipitación de esta fase mineral, manteniendo el sistema en un estado de subsaturación.

Condiciones termodinámicas para la precipitación de carbonatos (aragonito, dolomita y calcita)

El modelado de especiación química realizado en muestras representativas de la Cuenca Barinas Apure indica que, tanto en superficie como en los intervalos de 6.000 a 15.000 pies (~2.000 a 5.000 metros), las concentraciones de los iones Ca^{2+}, Mg^{2+} y HCO_3^- son suficientes para alcanzar el equilibrio de saturación respecto al aragonito, la dolomita y/o la calcita (Figura 187). La magnitud

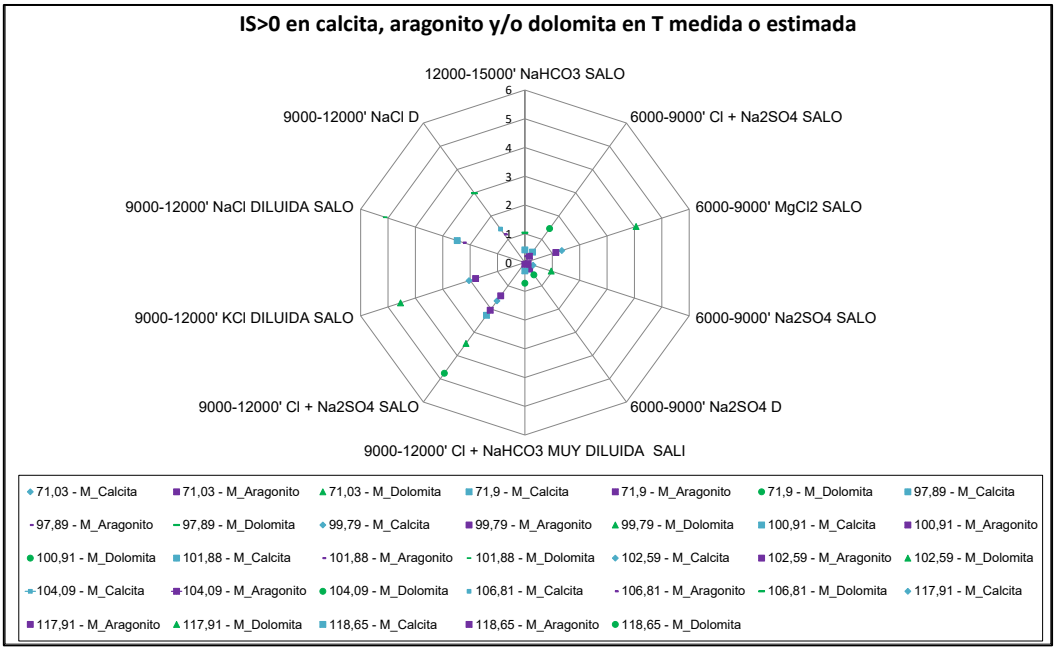
del índice de saturación varía con la temperatura y en general son mayores para la dolomita, que la calcita, que el aragonito:

- En el rango de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), las facies: 1) clorurada-sulfatada sódica salobre, 2) clorurada magnésica salobre y 3) sulfatada sódica (tanto salobre como dulce) presentan condiciones favorables para la precipitación en un rango térmico de 70 a 105°C.

- Al incrementar la profundidad, entre 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), la posibilidad de precipitación de carbonatos ocurre en las facies: 1) clorurada-bicarbonatada sódica (muy diluida salina), 2) clorurada-sulfatada sódica salobre, 3) clorurada potásica salobre, y 4) clorurada sódica (diluida salobre y dulce), bajo temperaturas de 100 a 120°C.

- En el intervalo de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros) la facies bicarbonatada sódica salobre se mantiene saturada a 98°C.

Las simulaciones efectuadas entre 25 y 150°C confirman la estabilidad fisicoquímica de estas reacciones de precipitación, observándose que las facies de superficie alcanzan la saturación sólo si la temperatura excede los 150°C, mientras que la facies bicarbonatada sódica profunda requiere superar los 100°C (Figura 187). Condiciones ambas que no suceden en las condiciones actuales de las muestras.



a)

b)

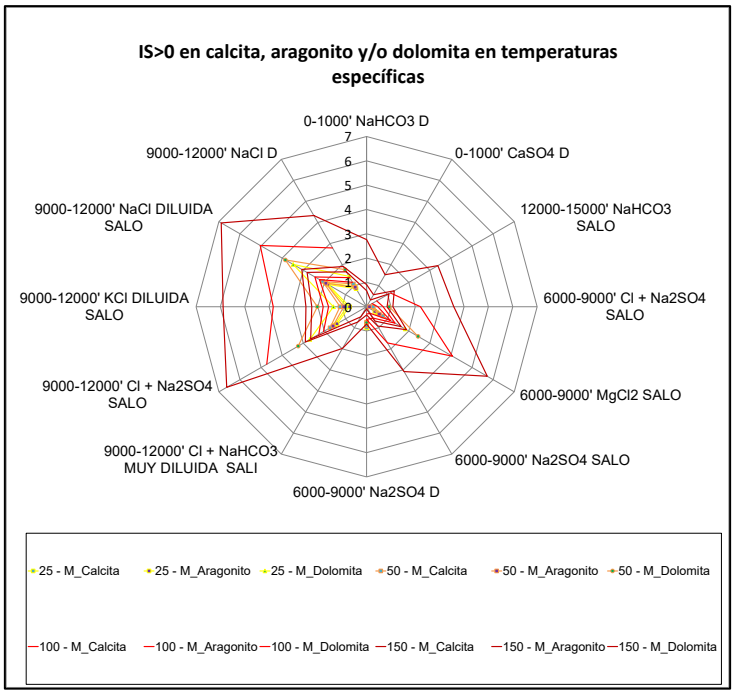
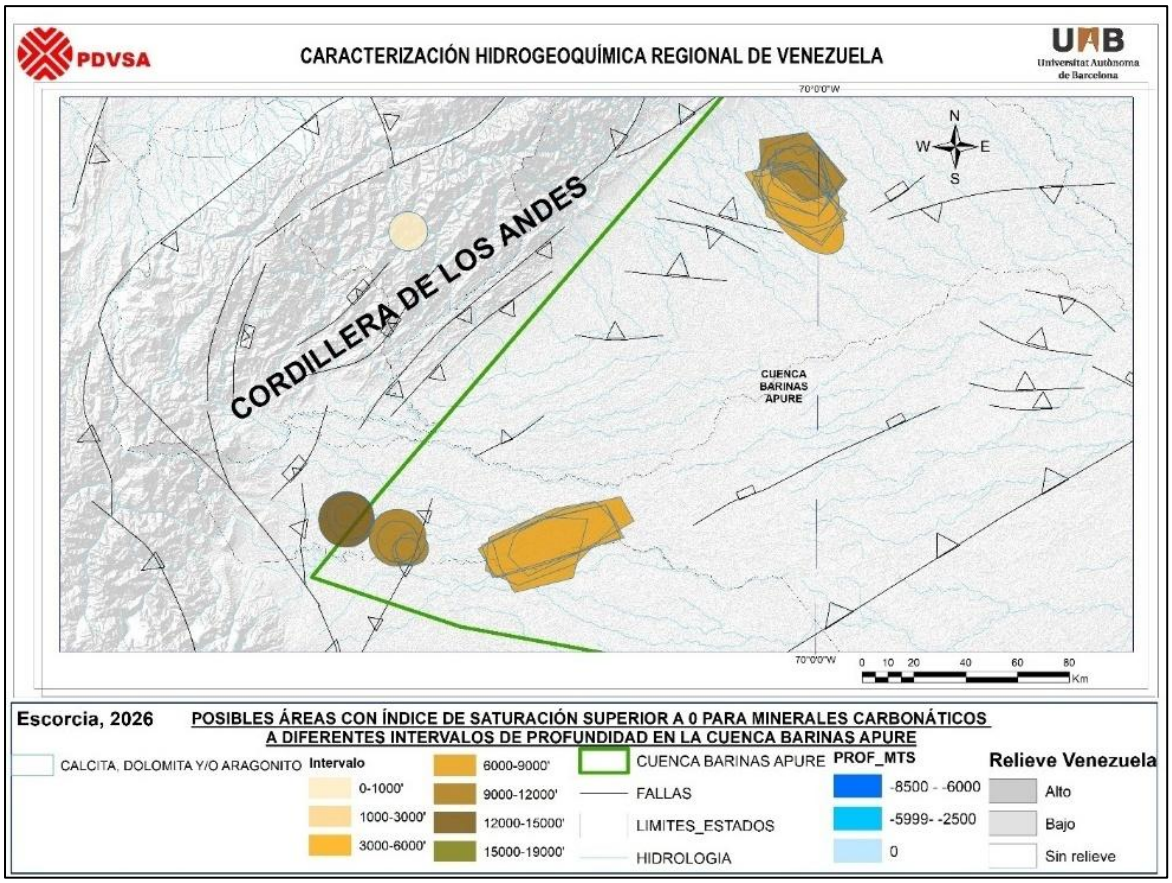
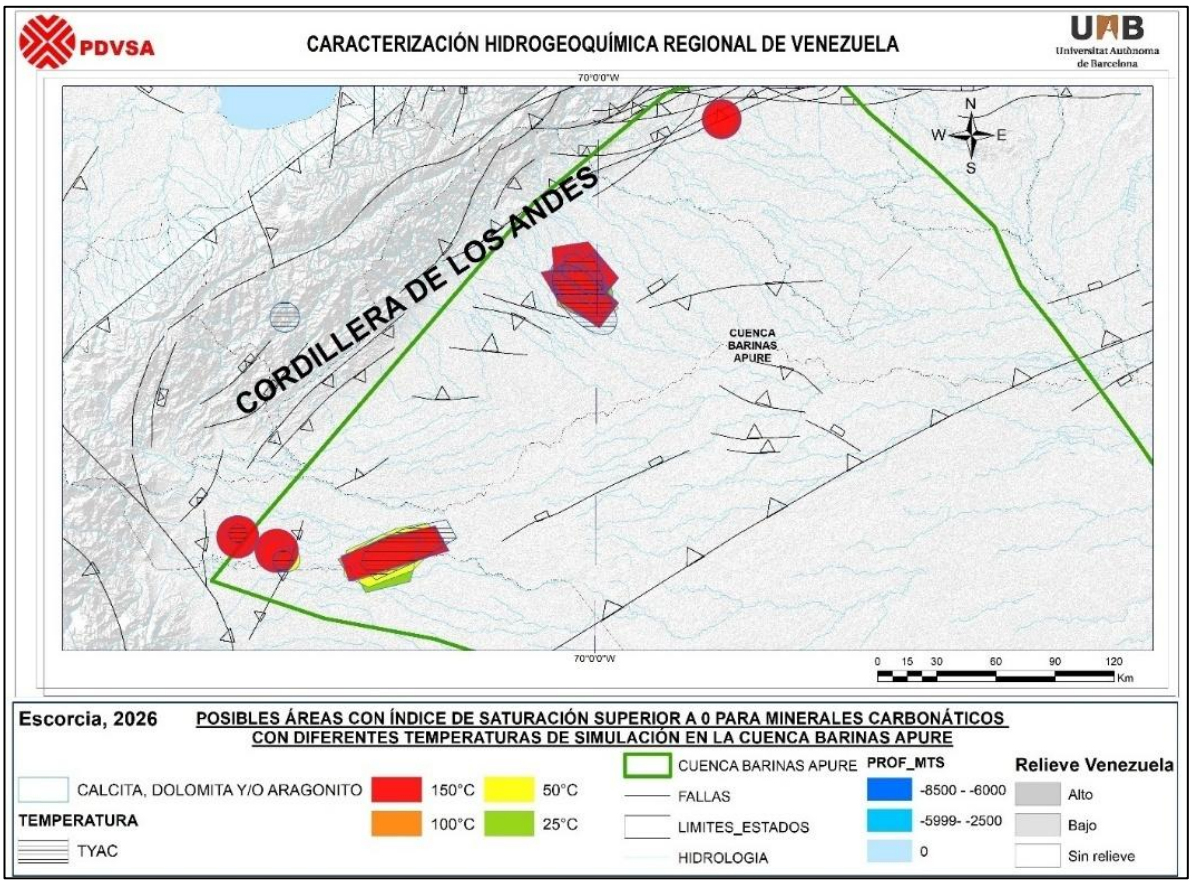


Figura 187. Diagramas radiales del índice de saturación máximo para las facies hidrogeoquímicas con las condiciones fisicoquímicas favorables para la precipitación de los minerales carbonáticos: aragonito, dolomita y/o calcita en la Cuenca Barinas Apure. a) índice de saturación de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a su temperatura. b) índice de saturación de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas de 25, 50, 100 y 150°C.

La distribución geográfica vertical y lateral de estos cambios indican una posibilidad termodinámica de precipitación para minerales carbonaticos a lo largo de la Cuenca de Barinas y de la Cuenca de Apure (Figura 188). La distribución de las áreas con riesgo de precipitación difiere de acuerdo con la temperatura de simulación, en algunos casos se reduce el área posible (ej.: facies sulfatada sódica dulce) y en otros casos se extiende (ej.: facies en la cuenca Barinas).



a



b

Figura 188. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales carbonáticos: calcita, dolomita y/o aragonito es superior a cero, indicando condiciones favorables

para la precipitación en un modelo estático de especiación de las facies hidrogeoquímicas caracterizadas en la Cuenca Barinas Apure. a) Distribución por intervalo estratigráfico. b) Distribución de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C y temperatura de la muestra.

Condiciones termodinámicas para la precipitación de óxidos e hidróxidos de hierro (goetita y hematita)

De acuerdo con el modelado de especiación química realizado en muestras representativas de la Cuenca Barinas Apure, la actividad iónica de Fe^{2+}, Fe^{3+} y OH^{-} en las aguas de superficie es teóricamente suficiente para alcanzar la saturación de fases minerales de hierro. El análisis identifica a la facies sulfatada cálcica dulce (Figura 107), ubicada en la Cordillera de los Andes, como la facies hidrogeoquímica sensible a este proceso. Si bien las temperaturas registradas durante la captación *in situ* de la muestra, no representan una condición de equilibrio favorable para la precipitación inmediata, el modelo sugiere que la formación de goetita y hematita es probable durante el proceso de enfriamiento y estabilización térmica del fluido, al alcanzar la temperatura ambiente. Este fenómeno responde a la disminución de la solubilidad de los hidróxidos de hierro ante el descenso térmico, lo que impulsa al sistema desde un estado de subsaturación hacia una fase de precipitación mineral activa.

VII. 2. 2 Cuenca Maracaibo Falcón

El modelado de especiación química aplicado a las 28 facies (y subfacies) hidrogeoquímicas de la Cuenca Maracaibo Falcón permitió determinar el estado de equilibrio de la fase acuosa respecto a los minerales anhidrita, aragonito, calcita, dolomita, goetita y hematita, identificando potenciales procesos de precipitación. La descripción de los resultados se realizó de manera individualizada por fases minerales comunes, primero en base a la temperatura de las muestras y luego en base al rango de temperatura simulado.

Condiciones termodinámicas para la precipitación de anhidrita y/o yeso

El modelado de especiación química generado de las facies de la Cuenca Maracaibo Falcón indica que, en los intervalos de 6.000 y 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros) y 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), la actividad iónica de Ca^{2+} y SO_4^{-2} alcanza niveles suficientes, en magnitudes inferiores a la unidad, para la saturación de anhidrita y/o yeso (Figura 189).

- Específicamente, en el rango de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), la facies clorurada-cálcica (salmuera) se identifica como la única unidad sensible a la precipitación de anhidrita a una temperatura de 78°C.

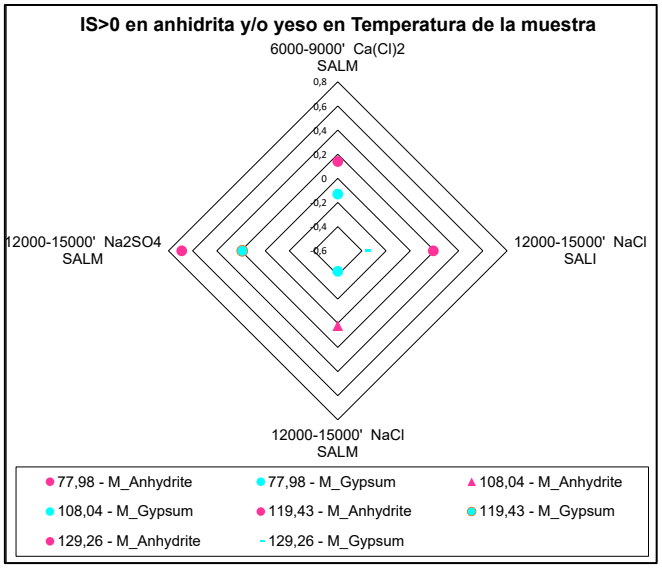
- Por su parte, en el intervalo de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), la posibilidad de precipitación de carbonatos es alta para las facies sulfatada sódica (salmuera) y para el caso de la anhidrita a la facies cloruradas sódicas (subfacies connatas salinas y salmueras), en un rango térmico de 100 a 130°C.

Las simulaciones de sensibilidad térmica entre 25°C y 150°C demuestran que la precipitación de anhidrita es fisicoquímicamente viable en la mayoría de las facies solo cuando el sistema alcanza los 150°C. No obstante, la facies sulfatada sódica muestra sobresaturación desde los 50°C. Con el incremento de la temperatura, se observa la incorporación progresiva de otras facies al dominio de saturación:

- A partir de 100°C, las facies cloruradas cálcicas (salobres y salmueras entre 3.000-9.000 pies).

- Al alcanzar los 150°C, el campo de estabilidad se amplía significativamente hacia facies cloruradas sódicas connatas, connata diluida y dulces con altos SDT (salobres, salinas y salmueras entre 0 y 15.000 pies), así como hacia facies sulfatadas magnésicas someras.

En cuanto al yeso, las simulaciones indican que su precipitación es termodinámicamente posible para la facies sulfatada sódica en todo el espectro de temperaturas evaluado, mientras que la facies clorurada-cálcica (salmuera) solo alcanzaría la saturación por encima de los 150°C.



a)

b)

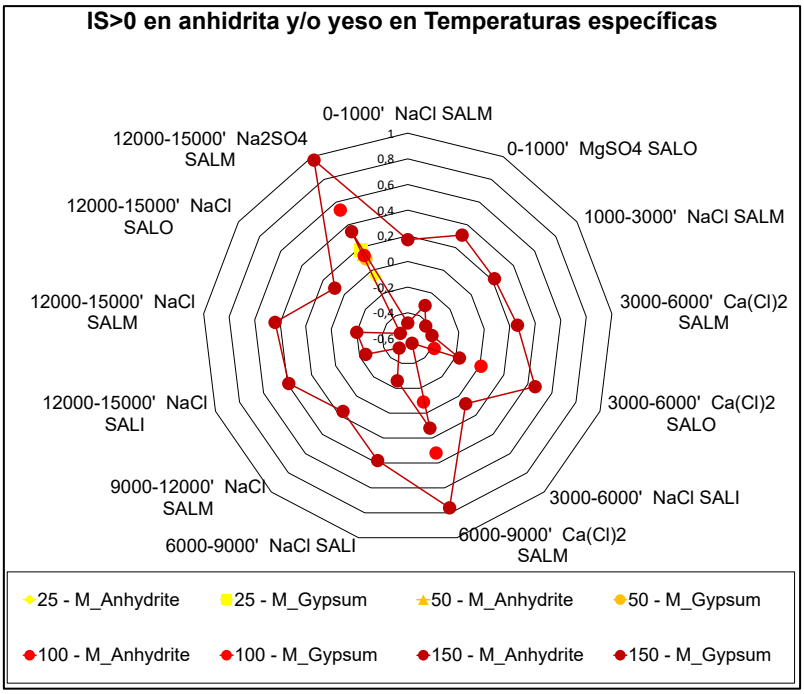
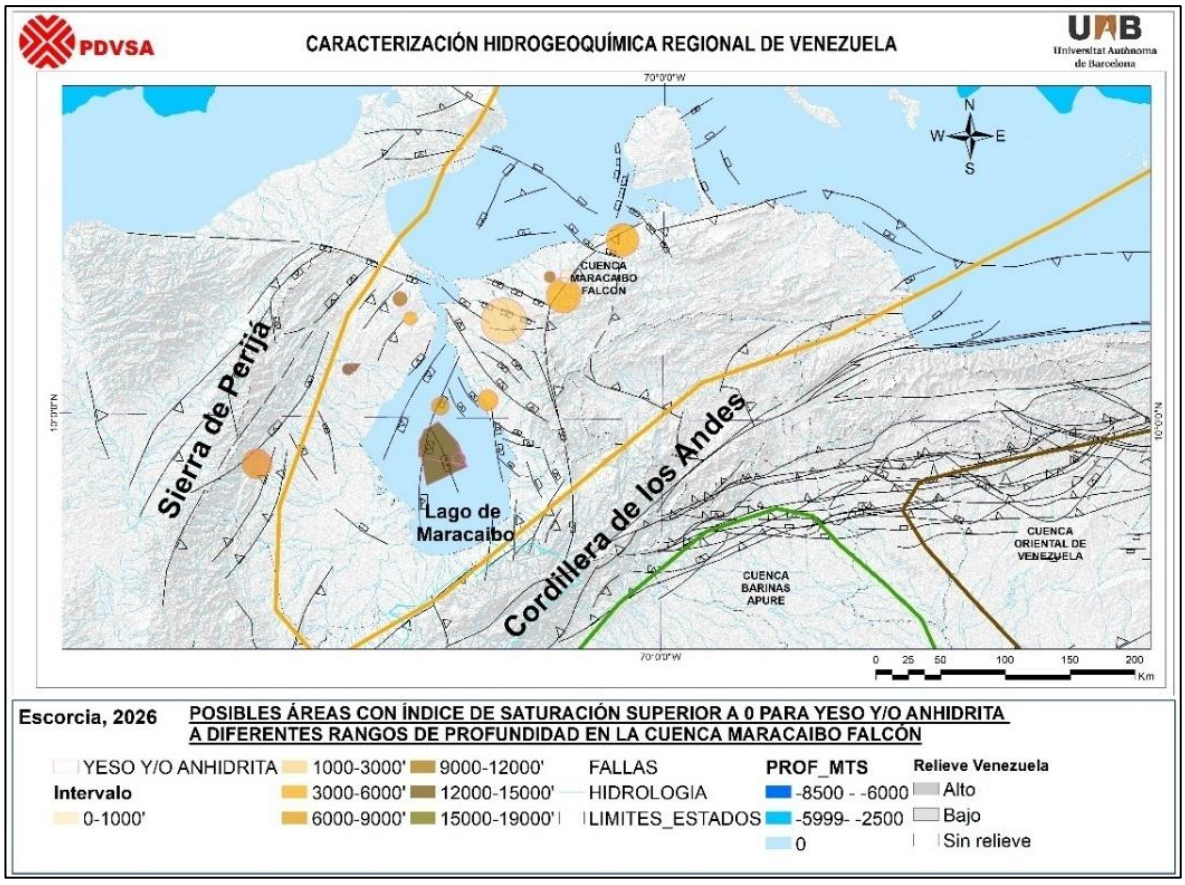
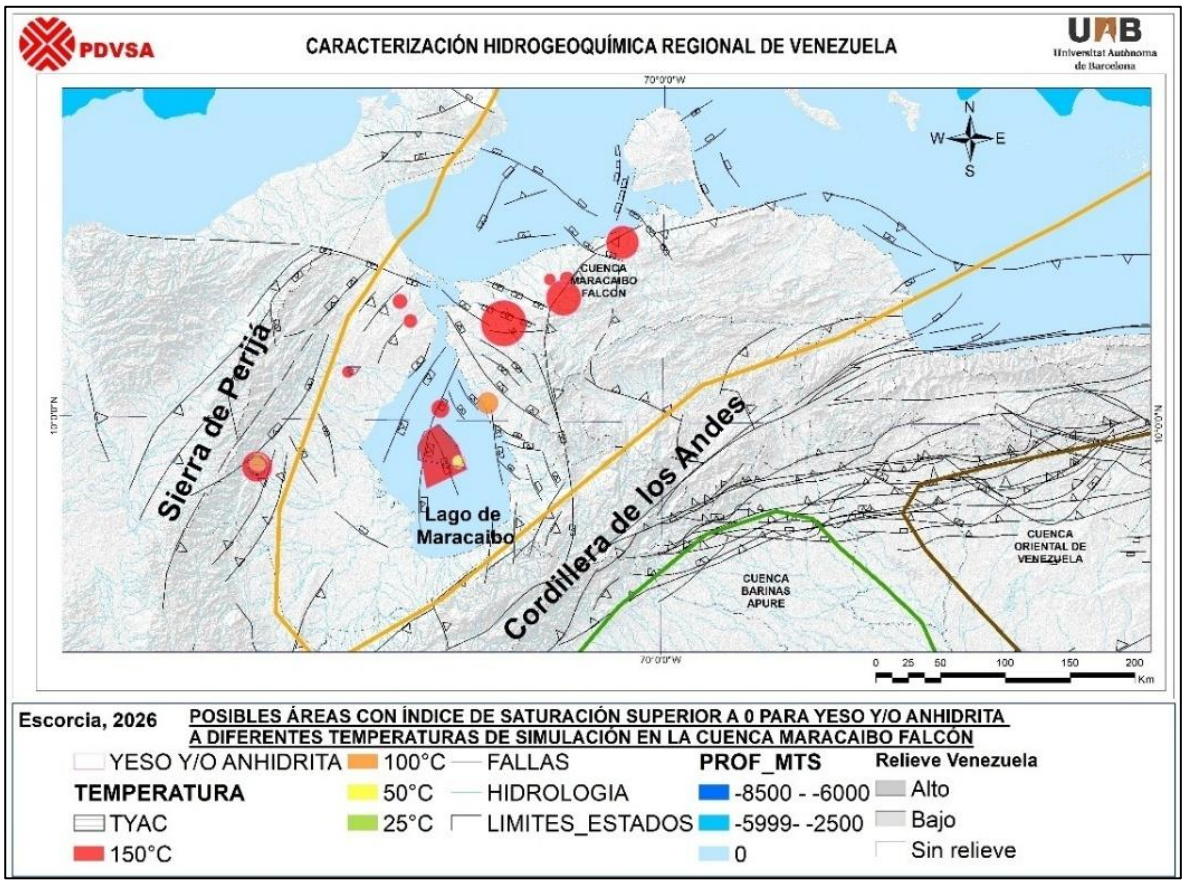


Figura 189. Diagramas radiales del índice de saturación máximo para las facies hidrogeoquímicas con las condiciones fisicoquímicas favorables para la precipitación del mineral anhidrita en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) índice de saturación de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a la temperatura medida y/o estimada. b) índice de saturación de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C.

La distribución geográfica vertical y lateral de estos cambios indican una posibilidad termodinámica de precipitación para minerales sulfatados a lo largo de la Cuenca de Maracaibo y de la Cuenca de Falcón (Figura 190). El cambio en la temperatura es crucial para determinar las áreas con mayor riesgo; considerando la temperatura actual del yacimiento (polígonos de rayas negras), sólo el área sur del Lago de Maracaibo y sureste de la Sierra de Perijá presentan riesgos de precipitación.



a)



b)

Figura 190. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales anhidrita y/o yeso es superior a cero indicando condiciones favorables para la precipitación en un modelo

estático de especiación de las facies hidrogeoquímicas caracterizadas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Distribución por intervalo estratigráfico. b) Distribución de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C y temperatura de la muestra.

Condiciones termodinámicas para la precipitación de carbonatos (aragonito, dolomita y calcita)

El modelado de especiación química realizado en muestras representativas de la Cuenca Maracaibo Falcón indica que, desde superficie hasta 19.000 pies (~0 a 6.500 metros), las concentraciones de los iones Ca^{2+}, Mg^{2+} y HCO_3^- son suficientes para alcanzar el equilibrio de saturación respecto al aragonito, la dolomita y/o la calcita (Figura 191):

- En el rango de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), las facies: 1) clorurada sódica (salobre y salmuera) en las subfacies connata, connata diluida y dulce con alto SDT, 2) clorurada cálcica (salobre), 3) bicarbonatada cálcica (salobre) y 4) bicarbonatada sódica (salobre) en las subfacies connata muy diluida, dulce con alto SDT y mezcla presentan condiciones favorables para la precipitación en un rango térmico de 20 a 60°C.

- En el rango de 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros), las facies: 1) clorurada sódica (dulce, salobre y salina) en las subfacies connata diluida y dulce con alto y bajo SDT, y 2) bicarbonatada sódica (dulce y salobre) en las subfacies meteórica, meteórica con intercambio iónico, connata muy diluida, dulce con alto SDT y mezcla presentan condiciones favorables para la precipitación en un rango térmico de 30 a 65°C.

- En el rango de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros), las facies: 1) clorurada sódica (salobre, salina y salmuera) en las subfacies connata, connata diluida y dulce con alto SDT, clorurada cálcica (salobre y salmuera) y 2) bicarbonatada sódica (salobre y salina) en las subfacies connata muy diluida, dulce con alto SDT y mezcla presentan condiciones favorables para la precipitación en un rango térmico de 40 a 85°C. En específico, la muestra de la facies clorurada cálcica salmuera no reporta índice de saturación para dolomita.

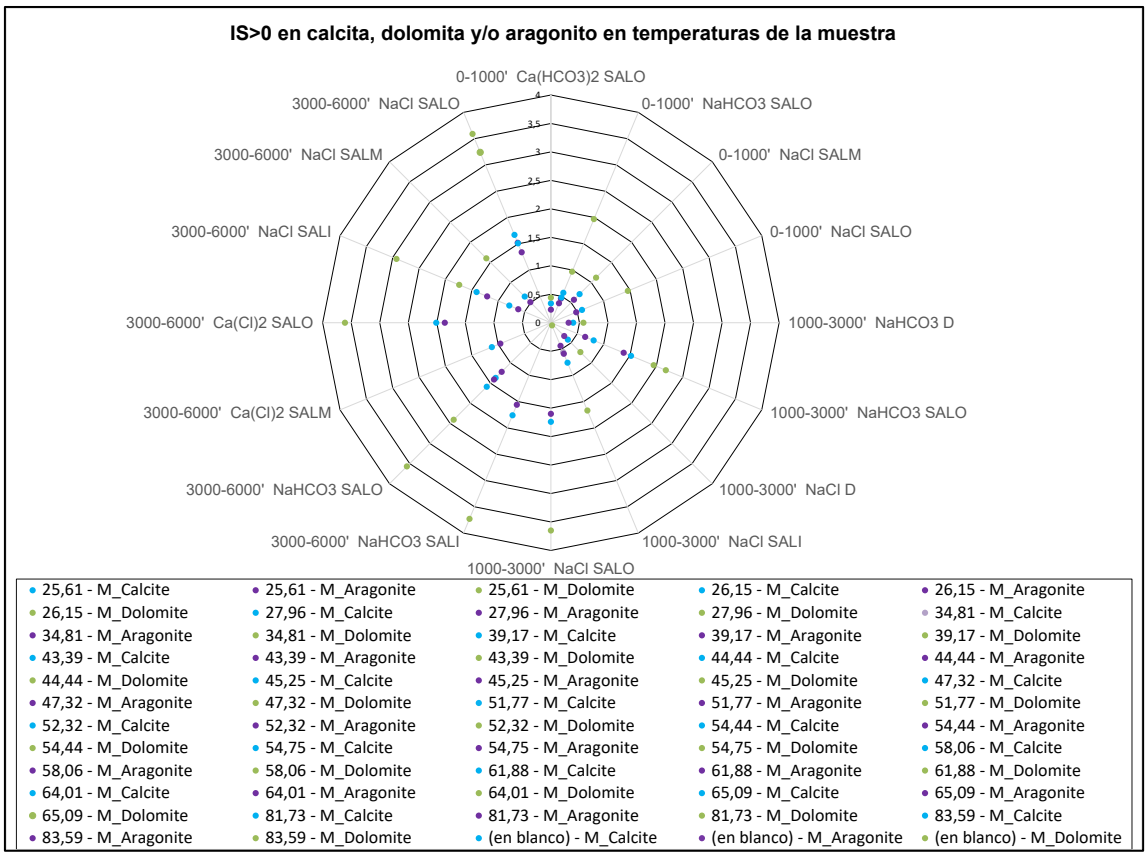
- En el rango de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), las facies: 1) clorurada sódica (salobre, salina y salmuera) en las subfacies connata, connata diluida y dulce con alto SDT, y 2) bicarbonatada sódica (dulce, salobre y salina) en las subfacies meteórica, connata muy diluida, dulce con alto SDT y mezcla presentan condiciones favorables para la precipitación en un rango térmico de 65 a 110°C. En específico, la muestra de la facies bicarbonatada sódica dulce alcanza el índice de saturación sólo para dolomita.

- En el rango de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), las facies: 1) clorurada sódica (salobre y salmuera) en las subfacies connata diluida y dulce con alto SDT, 2) bicarbonatada magnésica salina, y 3) bicarbonatada sódica salobre en las subfacies dulce con alto SDT y mezcla presentan condiciones favorables para la precipitación en un rango térmico de 80 a 130°C.

- En el rango de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), las facies: 1) clorurada sódica (salobre, salina y salmuera) en las subfacies connata, connata diluida y dulce con alto SDT, 2) bicarbonatada magnésica dulce, 3) sulfatada sódica y 4) bicarbonatada sódica (dulce, y salobre) en las subfacies meteórica con intercambio iónico, connata muy diluida, dulce con alto SDT y mezcla presentan condiciones favorables para la precipitación en un rango térmico de 100 a 150°C.

- En el rango de 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros), las facies: 1) clorurada sódica salmuera en la subfacies connata y 2) clorurada cálcica salmuera (no para aragonito), presentan condiciones favorables para la precipitación en un rango térmico de 120 a 150°C.

La magnitud del índice de saturación varía con la temperatura y en general son mayores para la dolomita, que la calcita, que el aragonito.



a)

b)

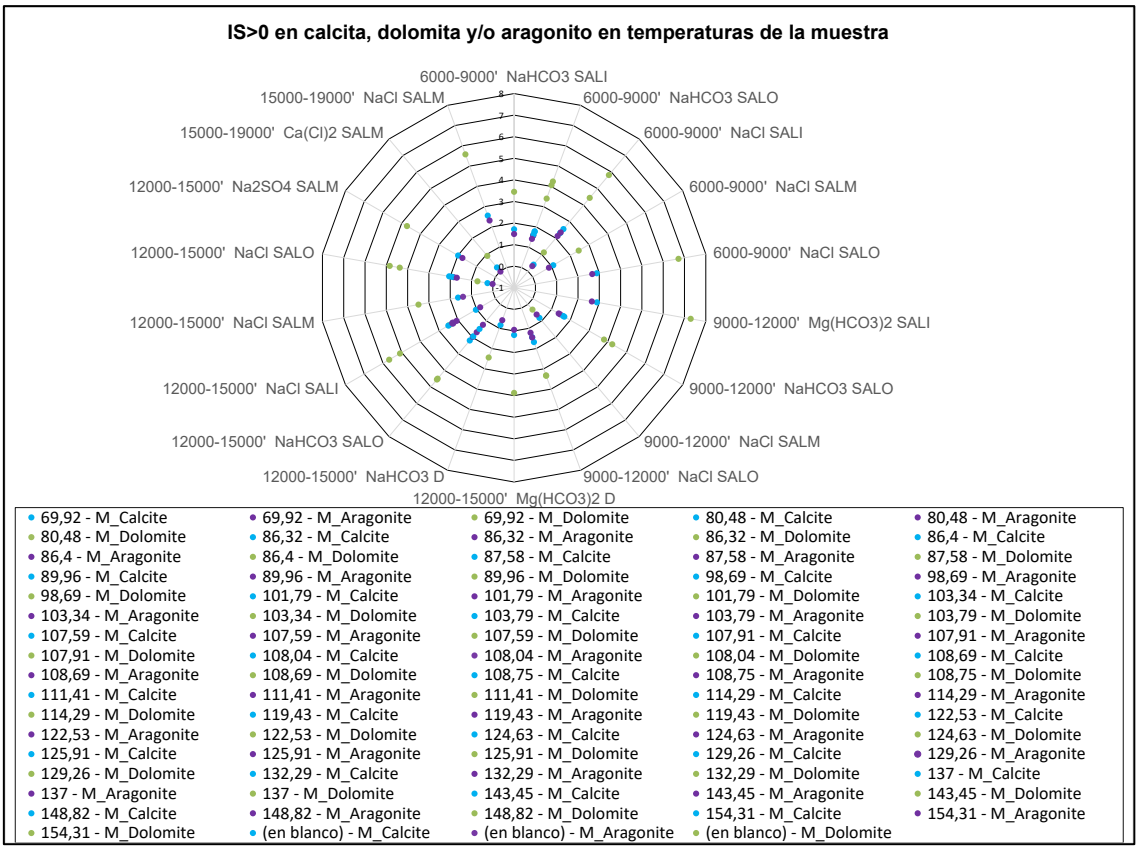


Figura 191. Diagramas radiales del índice de saturación máximo para las facies hidrogeoquímicas en la Cuenca de Maracaibo Falcón con las condiciones fisicoquímicas favorables para la precipitación del mineral aragonito, dolomita y/o calcita, de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a su temperatura. a) Muestras de aguas tomadas entre 0 y 6.000 pies. b) Muestras de aguas tomadas entre 6.000 y 19.000 pies

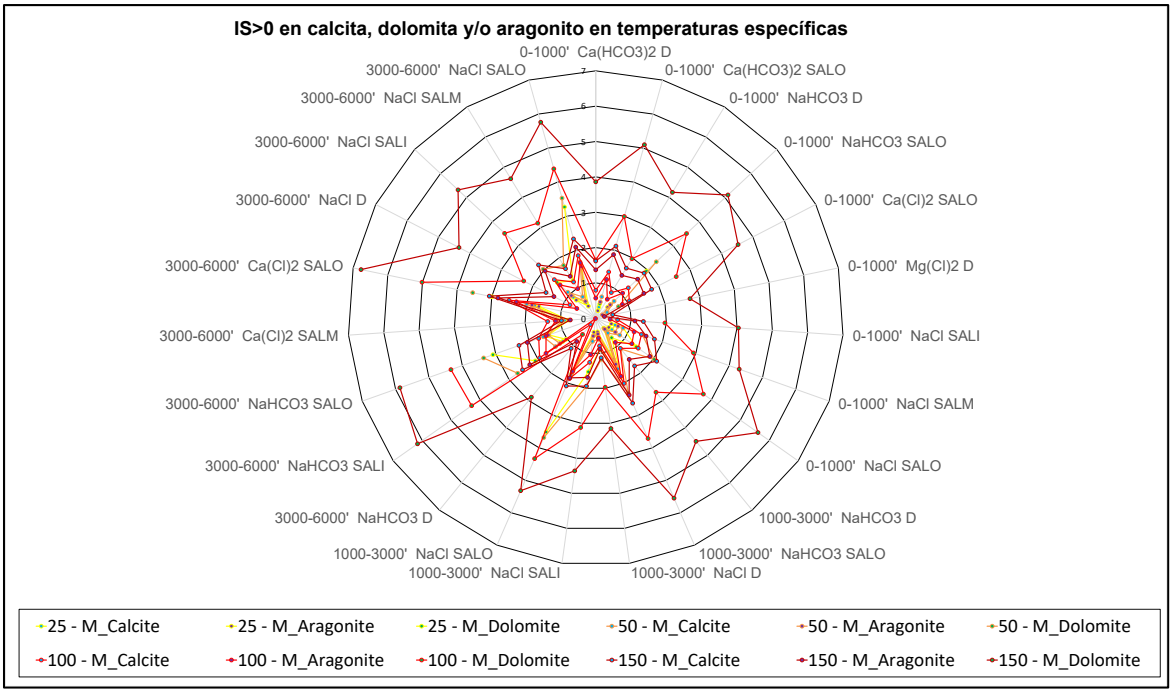
Las simulaciones geoquímicas efectuadas en un rango de 25°C a 150°C confirman la estabilidad de las reacciones de precipitación, aunque con variaciones en los umbrales de saturación de cada fase mineral. Un caso particular se observa en la facies bicarbonatada sódica dulce (6.000 a 9.000 pies o ~4.000 a 5.000 metros), la cual alcanza el estado de sobresaturación únicamente cuando el sistema se aproxima a los 150°C. A medida que se incrementa la temperatura de reacción, se identifica una incorporación progresiva de diversas facies al dominio de saturación (Figura 192), conforme a los siguientes umbrales térmicos:

- A 25 °C: Se observa un estado de subsaturación (IS<0) para el aragonito, la calcita y la dolomita en las facies: 1) bicarbonatada magnésica dulce, 2) bicarbonatada sódica dulce (12.000 a 15.000 pies o ~ 4.000 a 5.000 metros) y 3) clorurada-cálcica salmuera (15.000 a 19.000 pies o ~ 5.000 a 6.500 metros). Asimismo, la facies clorurada sódica salmuera (subfacies dulce con alto SDT, 9.000–12.000 pies o ~ 3.000 a 4.000 metros) no logra alcanzar un índice de saturación positivo para la dolomita a esta temperatura.

- A 50 °C: El sistema comienza a mostrar una mayor propensión a la precipitación. La facies clorurada-cálcica salobre (0 a 1.000 pies o ~ 0 a 300 metros) alcanza la saturación respecto al aragonito. Simultáneamente, se incorporan al dominio de equilibrio las facies: 1) bicarbonatada cálcica dulce para calcita (0 a 1.000 pies o ~ 0 a 300 metros), 2) clorurada sódica y 3) bicarbonatada sódica dulces para calcita y dolomita (0 a 6000 pies o ~ 0 a 2.000 metros), y la clorurada sódica salina para dolomita (0 a 1.000 pies o ~ 0 a 300 metros). No obstante, los intervalos más profundos (cloruradas sódicas y cálcicas y bicarbonatadas sódicas y magnésicas entre 12.000 a 19.000 pies (~ 4.000 a 6.500 metros) permanecen en estado de subsaturación.

- A 100 °C: La mayoría de las facies previamente incorporadas presentan índices de saturación que favorecen la precipitación simultánea de los tres minerales carbonatados. En este nivel térmico, se suman al dominio de saturación la facies clorurada magnésica dulce para dolomita (0 a 1.000 pies o ~ 0 a 300 metros), la bicarbonatada sódica y clorurada sódica dulces (3.000 a 6.000 pies o ~ 1.000 a 2.000 metros), y la clorurada-cálcica salmuera (15.000 a 19.000 pies o ~ 5.000 a 6.500 metros) específicamente para aragonito.

- A 150 °C: Se alcanza la máxima extensión del dominio de precipitación con la incorporación de la facies bicarbonatada magnésica dulce para dolomita (0 a 1.000 pies o ~ 0 a 300 metros). Es notable que, bajo estas condiciones de alta energía térmica, la facies clorurada-cálcica salmuera profunda (15.000 a 19.000 pies o ~ 5.000 a 6.500 metros) revierte a un estado de subsaturación respecto al aragonito, lo que sugiere una ventana térmica específica de estabilidad para este polimorfo en ambientes profundos.



a)

b)

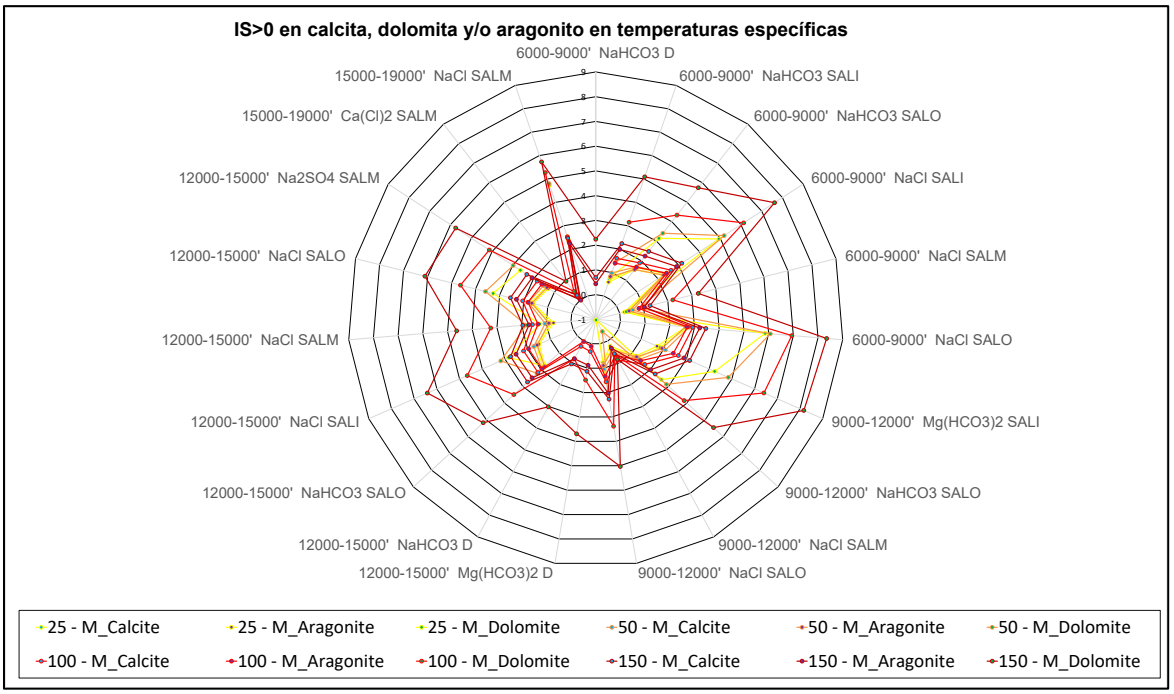
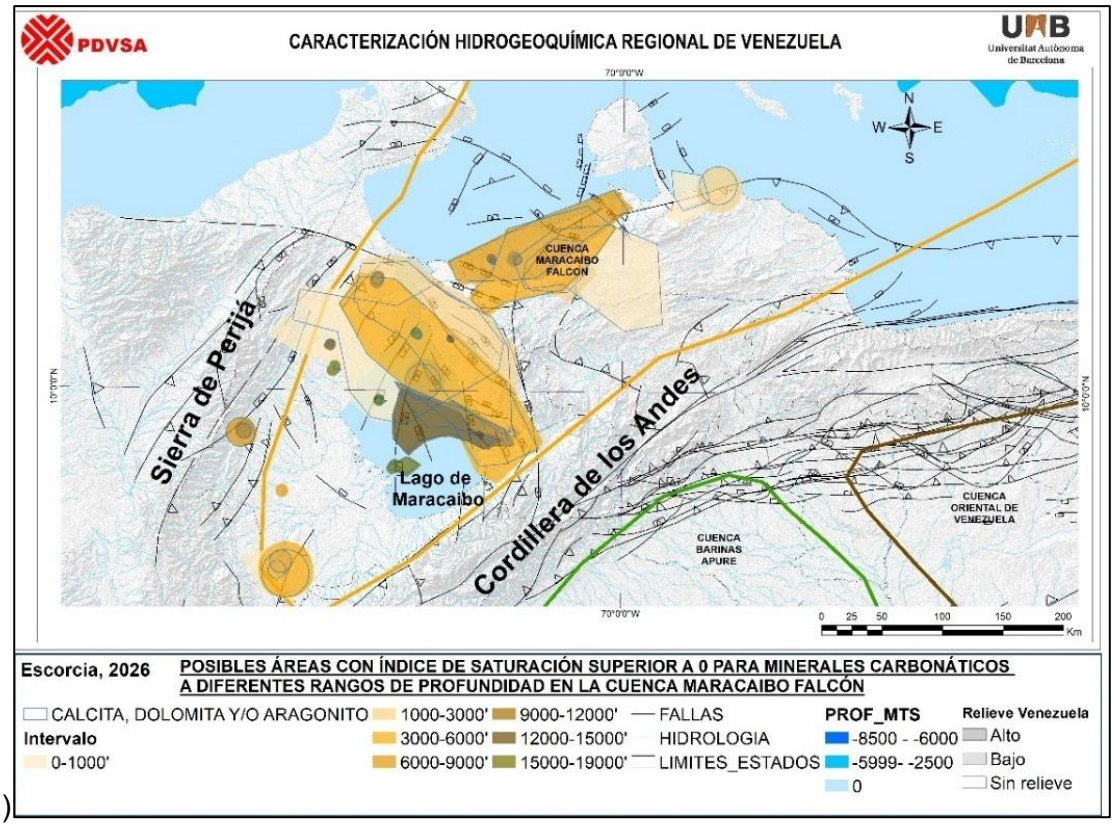
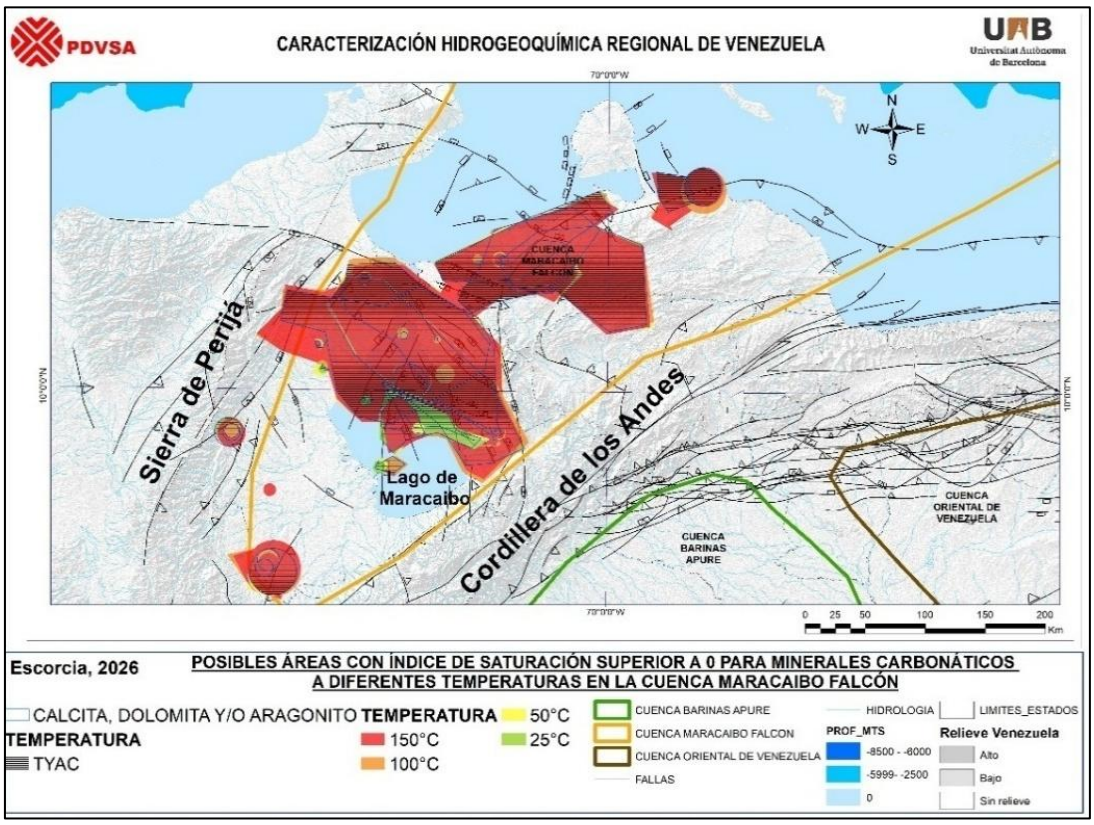


Figura 192. Diagramas radiales del índice de saturación máximo para las facies hidrogeoquímicas con las condiciones fisicoquímicas favorables para la precipitación del mineral aragonito, dolomita y/o calcita, de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C. a) Muestras de aguas tomadas entre 0 y 6.000 pies. b) Muestras de aguas tomadas entre 6.000 y 19.000 pies.

La distribución geográfica vertical y lateral de estos cambios indican una posibilidad termodinámica de precipitación para minerales carbonáticos a lo largo de la Cuenca de Maracaibo y de la Cuenca de Falcón (Figura 193); restringido mayormente por el rango de profundidad. Incluso a la temperatura de la muestra (polígonos de rayas negras), se mantienen extensas áreas propensas a la precipitación.



a)



b)

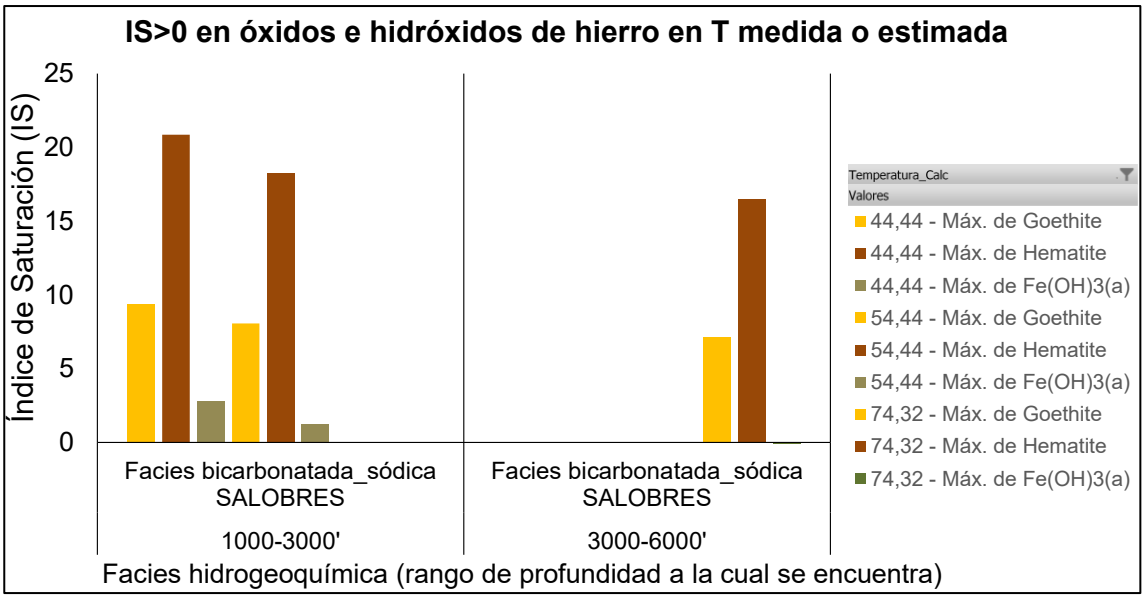
Figura 193. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales carbonáticos: calcita, dolomita y/o aragonito es superior a cero indicando condiciones favorables para la precipitación en un modelo estático de especiación de las facies hidrogeoquímicas caracterizadas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Distribución por intervalo estratigráfico. b) Distribución de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C y temperatura de la muestra.

Condiciones termodinámicas para la precipitación de óxidos e hidróxidos de hierro (goetita y hematita)

El modelado de especiación química aplicado a las facies de la Cuenca Maracaibo Falcón indica que, la actividad iónica de Fe^{2+}, Fe^{3+} y OH^- es teóricamente suficiente para la saturación de fases minerales de hierro como hematita, goetita e hidróxidos de hierro; para la facies bicarbonatada sódica salobre (subfacies connata muy diluida y dulce con alta SDT para el intervalo 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros) y subfacies mezcla para el intervalo 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros, Figura 194).

- Específicamente, en el rango de 3.000 a 6.000 pies (~ 1.000 a 2.000 metros), la facies bicarbonatada sódica salobre no se encuentra subsaturada para los hidróxidos de hierro.
- El rango de temperatura de las muestras va de 40°C a 75°C.

Las simulaciones de sensibilidad térmica entre 25°C y 150°C demuestran que la precipitación de las fases minerales de hierro es fisicoquímicamente viable. No obstante, los hidróxidos de hierro pierden estabilidad con el incremento de la temperatura.



a)

b)

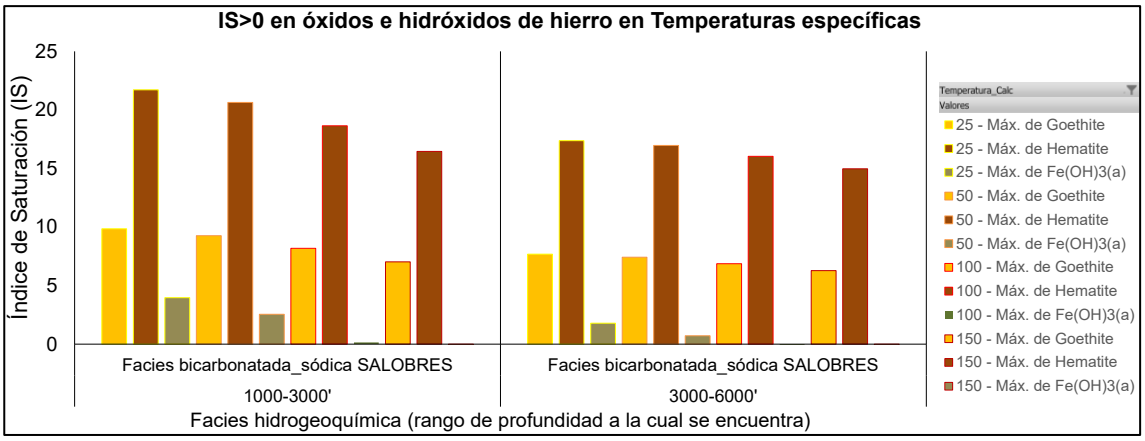
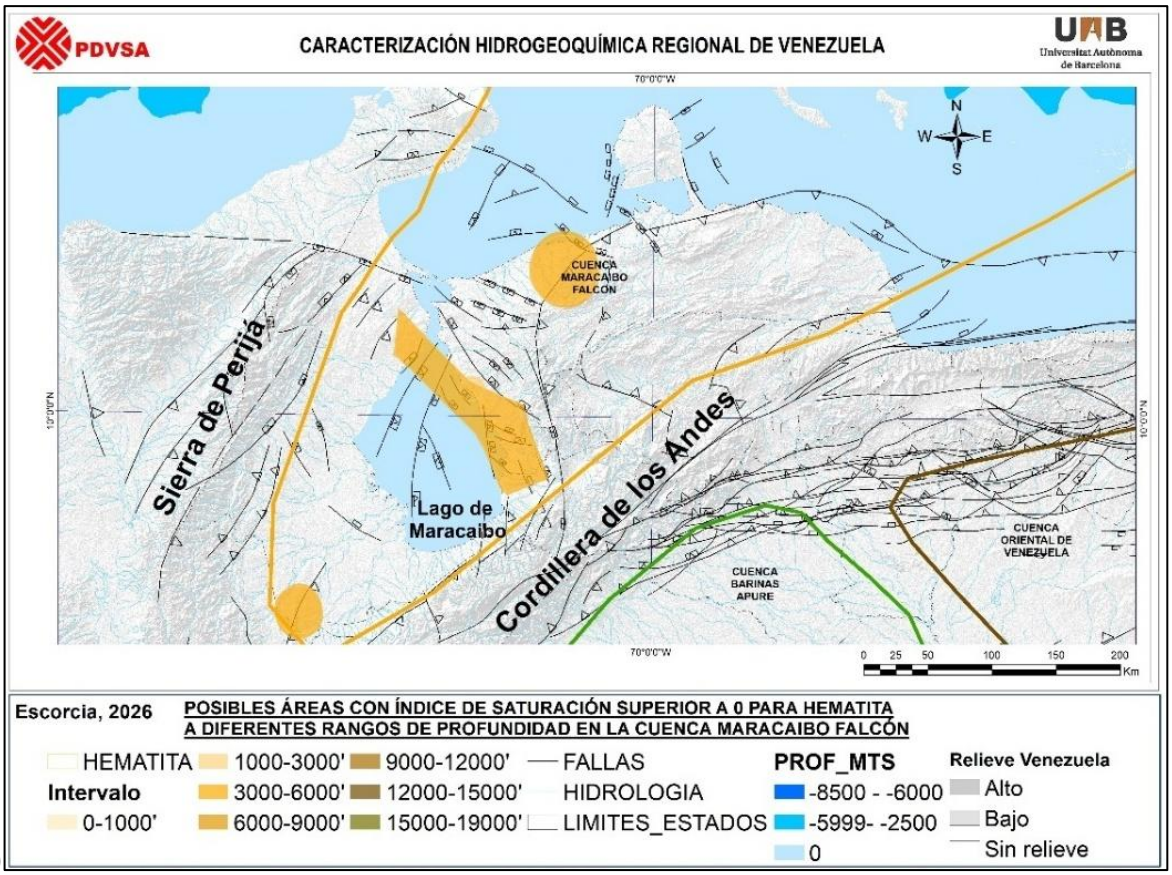


Figura 194. Diagramas de columnas del índice de saturación máximo para las facies hidrogeoquímicas con las condiciones fisicoquímicas favorables para la precipitación de las fases minerales de hierro en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) índice de saturación de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a su temperatura. b) índice de saturación de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C.

La distribución geográfica vertical y lateral de estos cambios indican una posibilidad termodinámica de precipitación para minerales ricos en hierro en regiones limitadas y sólo en algunos rangos de profundidad de la Cuenca de Maracaibo y de la Cuenca de Falcón (Figura 195). Los cambios en la temperatura de simulación incrementan los polígonos de riesgo para la precipitación, ya que en la temperatura de la muestra (polígonos de rayas negras), podría ocurrir sólo en la Cuenca de Maracaibo.



a)

b)

Figura 195. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales de hierro es superior a cero indicando condiciones favorables para la precipitación en un modelo estático de

especiación de las facies hidrogeoquímicas caracterizadas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) Distribución por intervalo estratigráfico. b) Distribución de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C y temperatura de la muestra.

VII. 2. 3 Cuenca Oriental

El modelado de especiación química aplicado a las 35 facies (y subfacies) hidrogeoquímicas de la Cuenca Oriental permitió determinar el estado de equilibrio de la fase acuosa respecto a los minerales anhidrita, aragonito, calcita, dolomita, goetita y hematita, identificando potenciales procesos de precipitación. La descripción de los resultados se realizó de manera individualizada por fases minerales comunes, primero en base a la temperatura de las muestras y luego en base al rango de temperatura simulado.

Condiciones termodinámicas para la precipitación de anhidrita y/o yeso

El modelado de especiación química aplicado a las facies de la Cuenca Oriental indica que, en los intervalos de 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros), la actividad iónica de Ca^{2+} y SO_4^{-2} alcanza niveles suficientes, sin superar la unidad, para la saturación de anhidrita y/o yeso (Figura 196).

- La muestra de la facies clorurada sódica dulce en la subfacies muy diluida con SDT bajo se tomó a 250°C y tiene una saturación para la fase mineral anhidrita.
- La muestra de la facies clorurada sódica salina en la subfacies connata se tomó a 160°C y tiene una saturación para las fases minerales anhidrita y yeso.
- La muestra de la facies clorurada sódica salina en la subfacies de intercambio iónico se tomó a 185°C y tiene una saturación para la fase mineral anhidrita.

Las simulaciones de sensibilidad térmica realizadas entre 25°C y 50°C indican que la totalidad de las muestras se encuentran en un estado de subsaturación respecto al yeso y la anhidrita, lo que descarta la posibilidad teórica de precipitación en este rango de temperatura. Al alcanzar los 100 °C, las condiciones termodinámicas se tornan favorables para la estabilidad de la anhidrita, específicamente dentro de las facies clorurada sódica salina (15.000 a 19.000 pies o ~ 5.000 a 6.500 metros) y salmuera (0 a 1.000 pies o ~ 0 a 300 metros). Finalmente, bajo condiciones de 150°C, el potencial de precipitación de anhidrita es positivo en las facies previamente mencionadas y se incorpora la facies salina en el intervalo somero (0 a 1.000 pies o ~ 0 a 300 metros). En cuanto al yeso, el índice de saturación (IS) solo supera el umbral de equilibrio para la facies clorurada sódica salina en el intervalo más profundo (15.000 a 19.000 pies o ~ 5.000 a 6.500 metros).

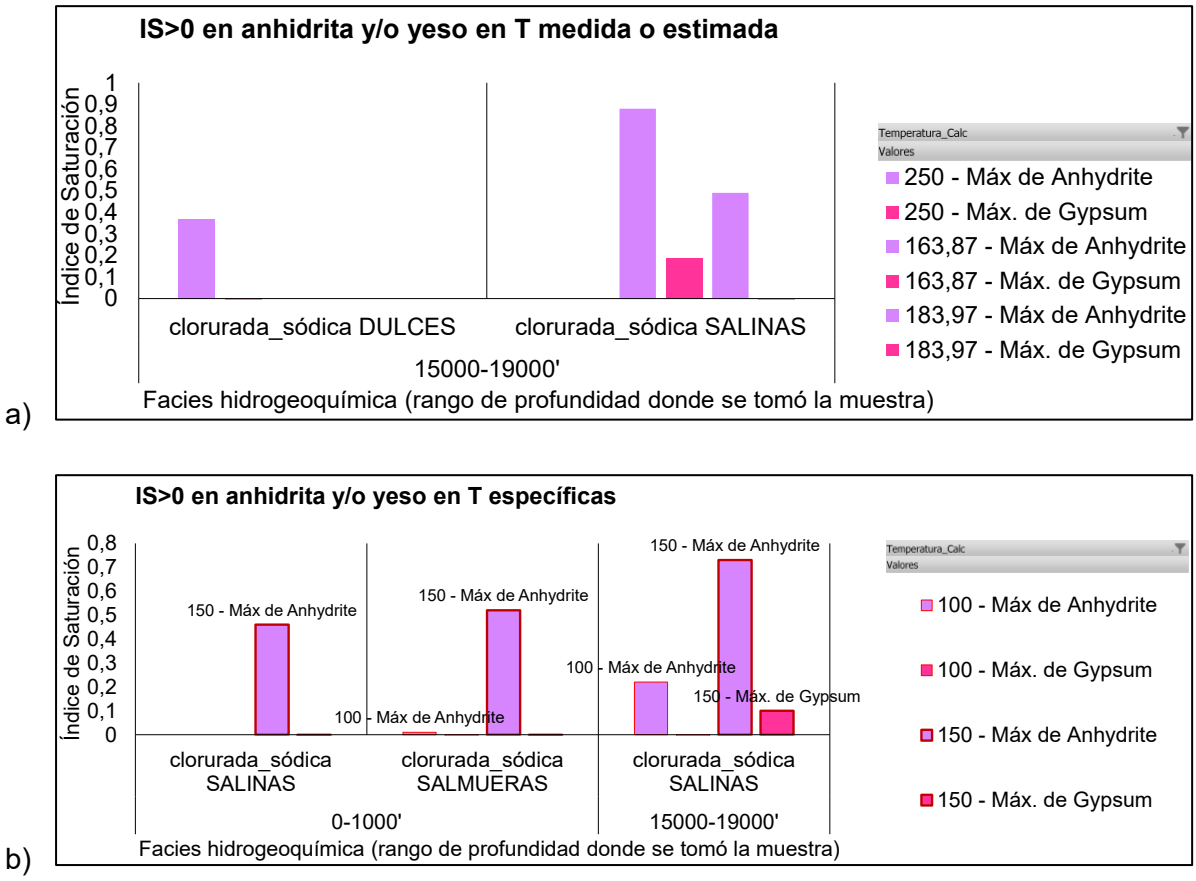
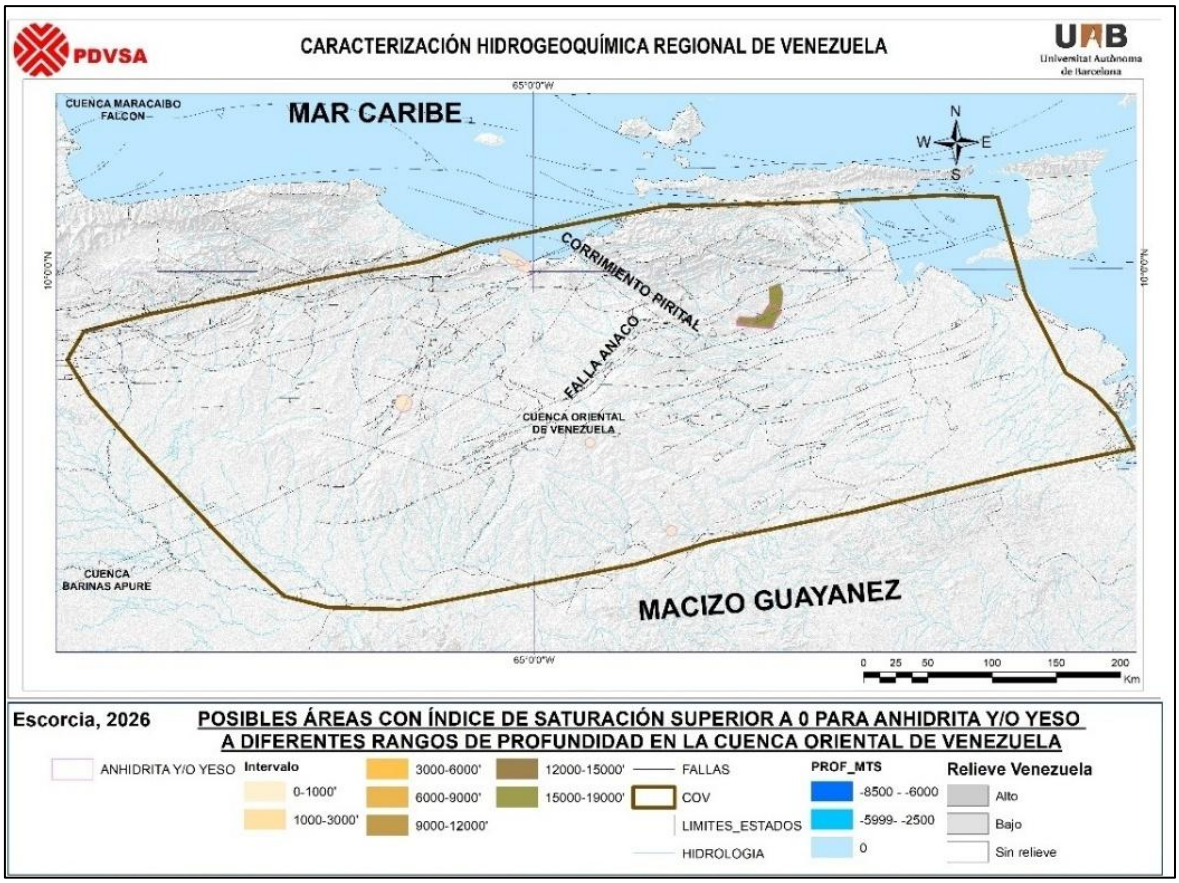
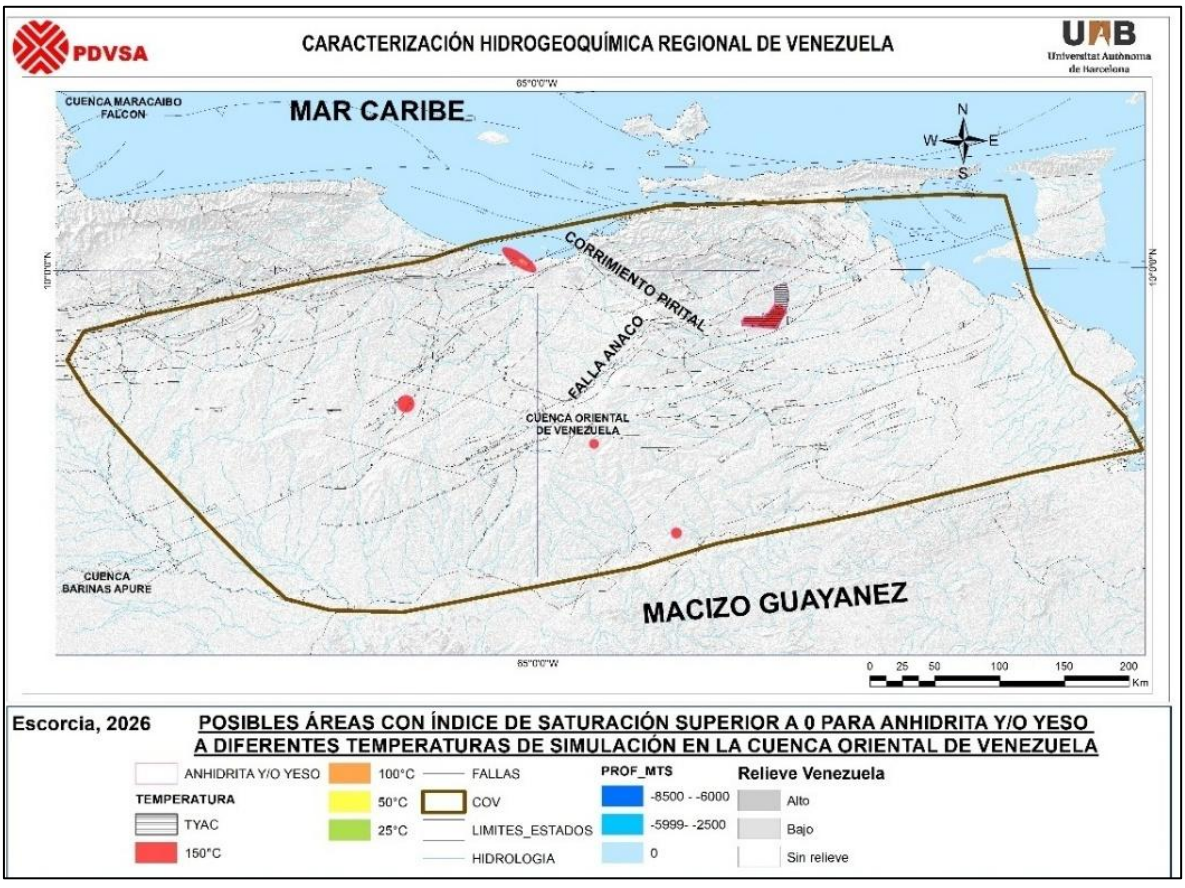


Figura 196. Diagramas de columnas del índice de saturación máximo para las facies hidrogeoquímicas con las condiciones fisicoquímicas favorables para la precipitación del mineral anhidrita en la Cuenca Oriental. a) índice de saturación de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a su temperatura. b) índice de saturación de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 100 y 150°C.

La distribución geográfica vertical y lateral de estos cambios indican una posibilidad termodinámica restringida de precipitación para minerales sulfatados en la Cuenca Oriental (Figura 197). En relación con la profundidad, los mayores riesgos se ubican en rangos someros (0 a 1.000 pies o ~ 0 a 300 metros) o muy profundos (15.000 a 19.000 pies o ~ 5.000 a 6.500 metros). Respecto a la temperatura, sólo las facies al este del Corrimiento de Pirital tienen un riesgo de precipitación a la temperatura de la muestra (polígonos de rayas negras).



a)



b)

Figura 197. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales anhidrita y/o yeso es superior a cero indicando condiciones favorables para la precipitación en un modelo

estático de especiación de las facies hidrogeoquímicas caracterizadas en la Cuenca Oriental. a) Distribución por intervalo estratigráfico. b) Distribución de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C y temperatura de la muestra.

Condiciones termodinámicas para la precipitación de carbonatos (aragonito, dolomita y calcita)

El modelado de especiación química realizado en muestras representativas de la Cuenca Oriental indica que, en todos los intervalos, las concentraciones de los iones Ca^{2+}, Mg^{2+} y HCO_3^- son suficientes para alcanzar el equilibrio de saturación respecto al aragonito, la dolomita y/o la calcita (Figura 198):

- En el rango de 0 a 1.000 pies (~0 a 300 metros), las facies: 1) clorurada sódica (salina) en las subfacies de intercambio iónico y mezcla, 2) sulfatada sódica (salobre) y 3) bicarbonatada sódica (salobre) en las subfacies dulce con SDT de medio a alto presentan condiciones favorables para la precipitación en un rango térmico de 24 a 30°C. La muestra tomada a 100°C sólo es favorable para dolomita.

- En el rango de 1.000 a 3.000 pies (~300 a 1.000 metros), las facies: 1) clorurada sódica (salobre, salina y salmuera) en las subfacies connata (pura, con intercambio iónico, diluida, muy diluida), de intercambio iónico y mezcla, 2) bicarbonatada cálcica (dulces), 3) bicarbonatada magnésica (salobres) y 4) bicarbonatada sódica (salobre) en las subfacies mezcla con SDT de bajo a alta y dulce con SDT de medio a alto presentan condiciones favorables para la precipitación en un rango térmico de 24 a 110°C.

- En el rango de 3.000 a 6.000 pies (~1.000 a 2.000 metros), las facies: 1) clorurada sódica (salobres, salinas y salmueras) en las subfacies connata (pura, con intercambio iónico, diluida, muy diluida), de intercambio iónico y mezcla y 2) bicarbonatada sódica (dulces, salobres y salinas) en las subfacies dulce con SDT de medio a alto, mezcla con SDT de bajo a alta presentan condiciones favorables para la precipitación en un rango térmico de 24 a 110°C. En específico, la facies clorurada cálcica (salmuera) no reporta índice de saturación para dolomita y la facies bicarbonatada cálcica (dulce) sólo tiene un índice de saturación positivo para calcita.

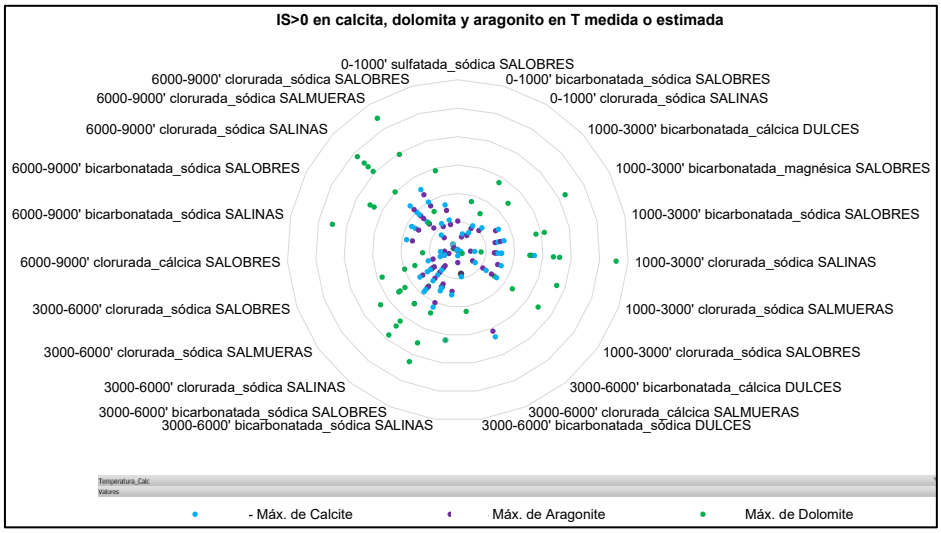
- En el rango de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros), las facies: 1) clorurada sódica (salobre, salina y salmuera) en las subfacies connata (pura, con intercambio iónico, diluida, muy diluida), de intercambio iónico y mezcla, 2) clorurada cálcica (salobres) y 3) bicarbonatada sódica (salobre y salina) en las subfacies dulce con SDT de medio a alto y mezcla presentan condiciones favorables para la precipitación en un rango térmico de 25 a 180°C.

- En el rango de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros), las facies: 1) clorurada sódica (dulces, salobres, salinas y salmueras) en las subfacies connata (pura, con intercambio iónico, diluida y muy diluida), de intercambio iónico, mezcla y muy diluida con SDT bajo, y 2) bicarbonatada sódica (salobres y salinas) en las subfacies mezcla con SDT de bajo a alta y dulce con SDT de medio a alto presentan condiciones favorables para la precipitación en un rango térmico de 40 a 115°C.

- En el rango de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros), las facies: 1) clorurada sódica (salobre, salina y salmuera) en las subfacies connata (pura, con intercambio iónico, diluida, muy diluida) de intercambio iónico y mezcla y 2) clorurada cálcica (salobres y salinas) presentan condiciones favorables para la precipitación en un rango térmico de 90 a 140°C. En específico, la facies clorurada cálcica (salobres) no tiene un índice de saturación positivo para la fase mineral aragonito.

- En el rango de 15.000 a 19.000 pies (~5.000 a 6.500 metros), las facies: 1) clorurada sódica (salobres, salinas y salmueras) en las subfacies connata, connata diluida, de intercambio iónico y mezcla y 2) clorurada cálcica salmuera, presentan condiciones favorables para la precipitación en un rango térmico de 80 a 190°C.

Los índices de saturación fluctúan según el régimen de temperatura, manteniendo una tendencia donde la dolomita presenta consistentemente los valores más elevados, seguidas en orden descendente por la calcita y el aragonito.



a)

b)

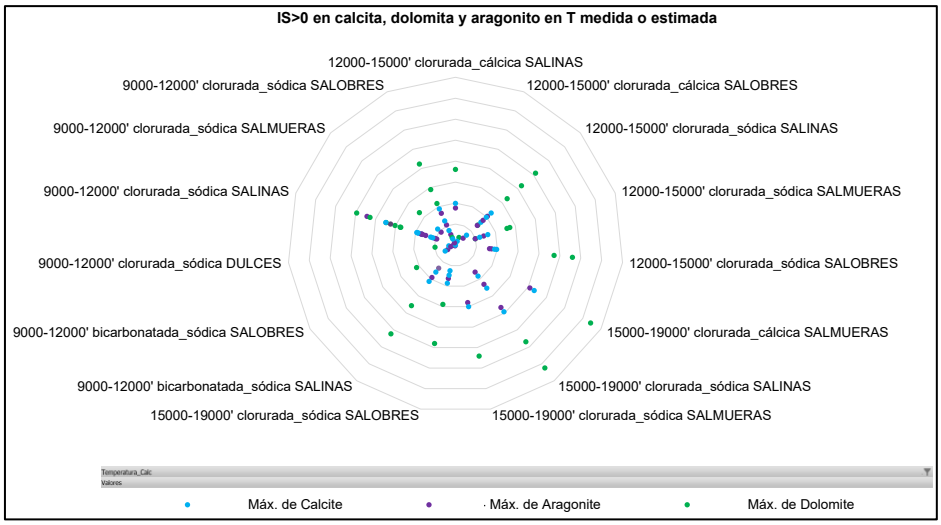


Figura 198. Diagramas radiales del índice de saturación máximo para las facies hidrogeoquímicas en la Cuenca Oriental con las condiciones fisicoquímicas favorables para la precipitación del mineral aragonito, dolomita y/o calcita, de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a su temperatura. a) Muestras de aguas tomadas entre 0 y 9.000 pies. b) Muestras de aguas tomadas entre 9.000 y 19.000 pies.

Las simulaciones geoquímicas efectuadas para evaluar la sensibilidad de precipitación de carbonatos, en un rango de 25°C a 150°C, confirman la estabilidad de las reacciones de precipitación, aunque con variaciones en los umbrales de saturación de cada fase mineral. A medida que se incrementa la temperatura de reacción, se identifica una incorporación o desincorporación progresiva de diversas facies al dominio de saturación (Figura 199), conforme a los siguientes umbrales térmicos:

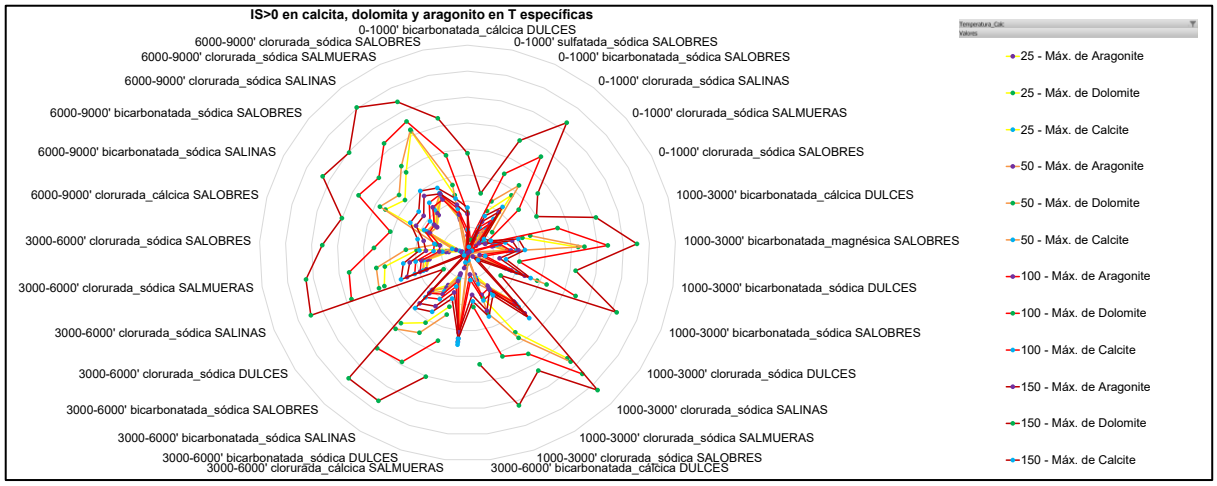
- A 25 °C: Se observa un estado de saturación (IS>0) para la facies clorurada sódica salmuera para dolomita. La precipitación de carbonatos a partir de las facies: 1) sulfatada sódica salobre (0 a 1.000 pies o ~0 a 300 metros), 2) bicarbonatada cálcica dulce (3.000 a 6.000 pies o ~1.000 a 2.000 metros), 3) clorurada sódica dulce (9.000 a 12.000 pies o ~3.000 a 4.000 metros) y 4) clorurada cálcica salobre no son factibles en esta temperatura.

- A 50 °C: Se observa un estado de saturación respecto a carbonatos (IS>0) para la facies clorurada cálcica salmuera para calcita y aragonito (0 a 1.000 pies o ~0 a 300 metros). Por otro lado, la precipitación de carbonatos desde las facies: 1) sulfatada sódica salobre (0 a 1.000 pies o ~0 a 300 metros), 2) bicarbonatada sódica dulce (1.000 a 3.000 pies o ~300 a 1.000 metros, sólo para dolomita), 3) bicarbonatada cálcica dulce (0 a 1.000 y 3.000 a 6.000 pies o ~0 a 300 metros y ~1.000 a 2.000 metros) y 4) clorurada sódica ((dulce, salina y salmuera, 9.000-12.000 pies o ~3.000 a 4.000 metros), salobre (0 a 1.000 pies o ~0 a 300 metros)), no son factibles en esta temperatura.

- A 100 °C: La mayoría de las facies previamente incorporadas presentan índices de saturación que favorecen la precipitación simultánea de los tres minerales carbonatados. En este nivel térmico, las siguientes facies se encuentran subsaturadas: 1) clorurada sódica salobre para aragonito (0 a 1.000 pies o ~0 a 300 metros), 2) clorurada cálcica salobre (12.000-15.000 pies o ~4.000 a 5.000 metros), 3) clorurada sódica (dulces, salobres, salinas y salmueras, 9.000-12.000 pies o ~3.000 a 4.000 metros) y 4) bicarbonatada sódica (salobre, 9.000-12.000 pies o ~3.000 a 4.000 metros). Y la siguiente facies presentan un índice de saturación positivo: clorurada cálcica dulce (0 a 1.000 o ~0 a 300 metros y 3.000 a 6000 pies o ~1.000 a 2.000 metros).

- A 150 °C: se mantiene el índice de saturación positivo para la facies bicarbonatada cálcica dulce (0 a 1.000 pies o ~0 a 300 metros y 15.000 a 19.000 pies o ~5.000 a 6.500 metros en calcita) y se incluyen las facies bicarbonatada sódica dulce (1.000 a 3.000 pies o ~300 a 1.000 metros y 9.000 a 12.000 pies o ~3.000 a 4.000 metros) y clorurada sódica dulce (1.000 a 6.000 pies o ~300 a 2.000 metros).

a)



b)

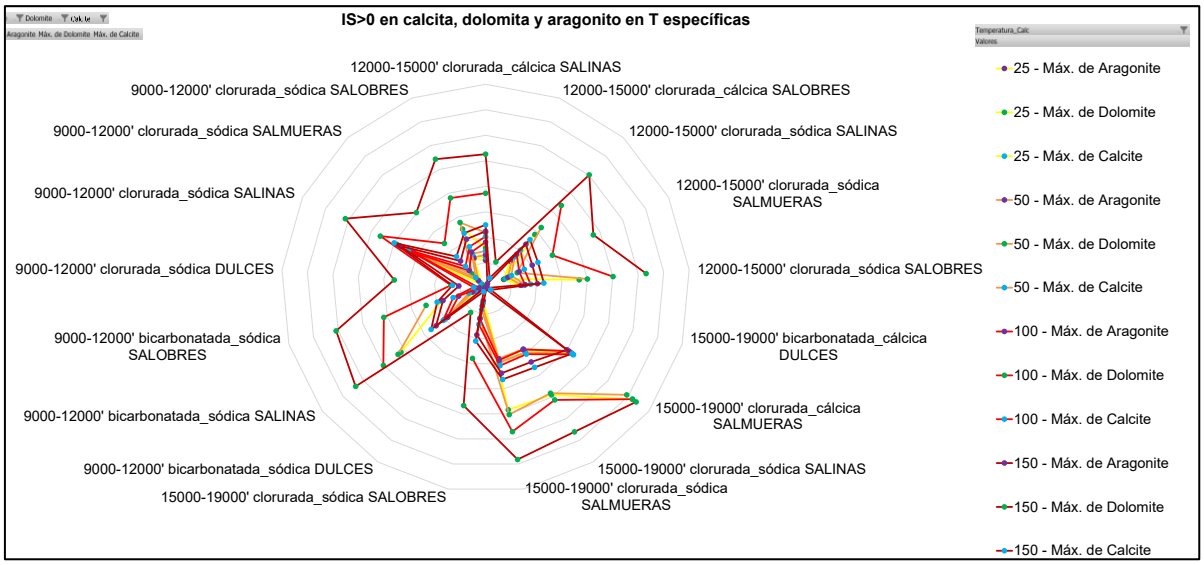
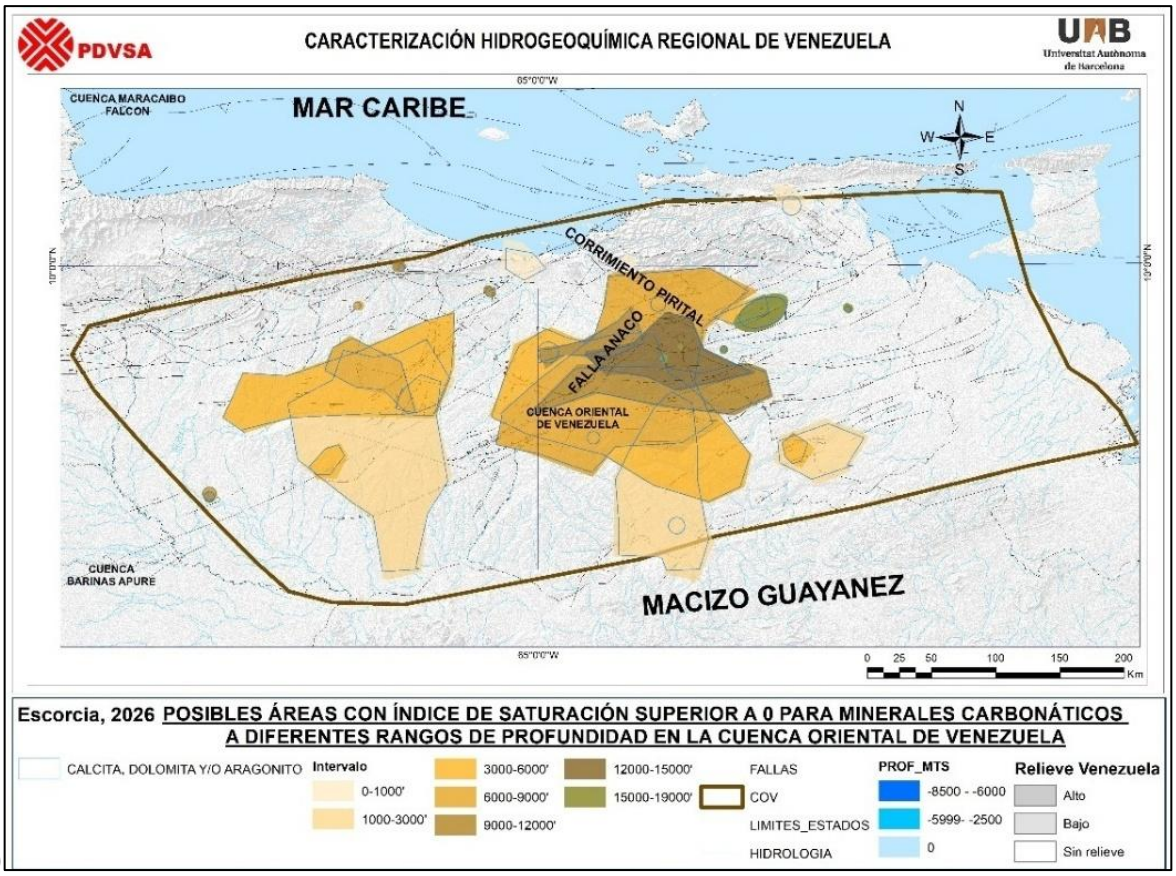
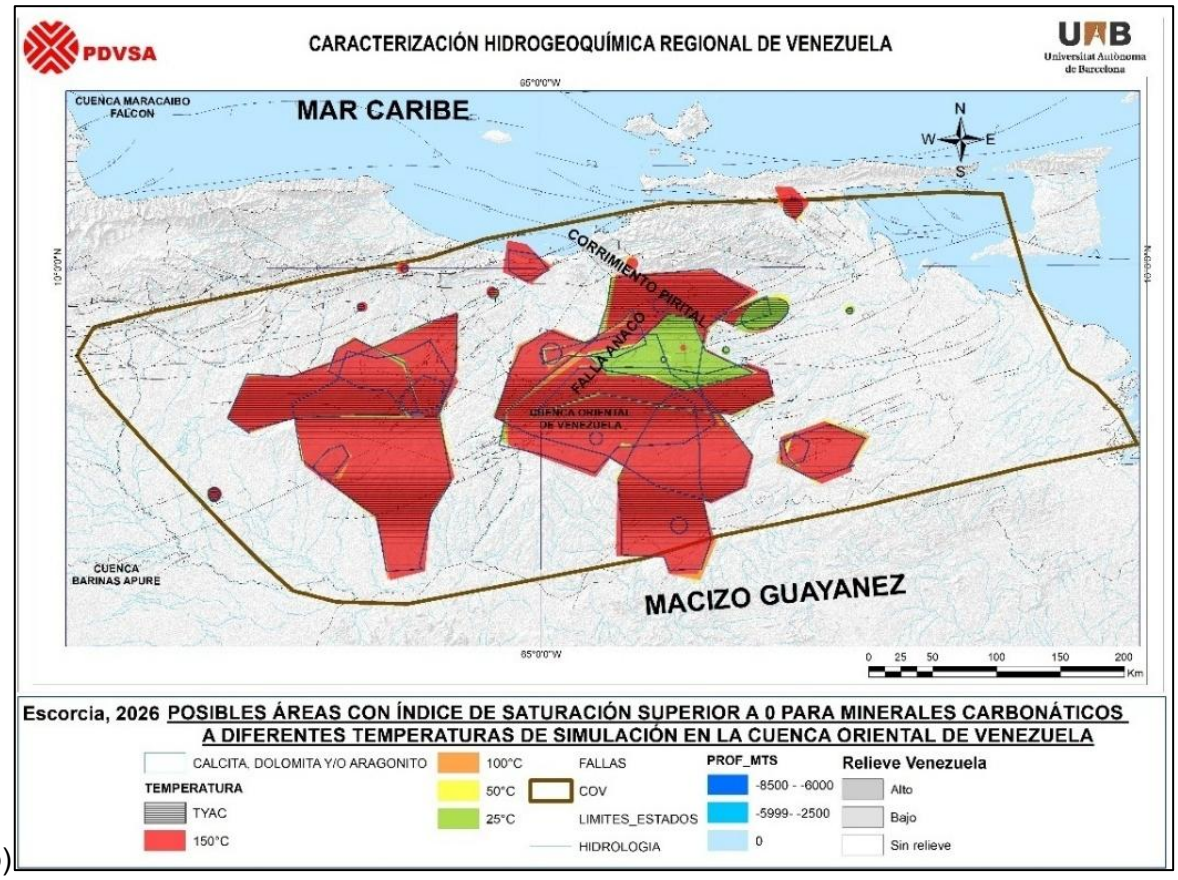


Figura 199. Diagramas radiales del índice de saturación máximo para las facies hidrogeoquímicas con las condiciones fisicoquímicas favorables para la precipitación del mineral aragonito, dolomita y/o calcita, de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C. a) Muestras de aguas tomadas entre 0 y 9.000 pies. b) Muestras de aguas tomadas entre 9.000 y 19.000 pies.

La distribución geográfica vertical y lateral de estos cambios indican una posibilidad termodinámica de precipitación para minerales carbonáticos a lo largo de la Cuenca Oriental (Figura 200), con cambios en los rangos de profundidad inherentes a la configuración de la cuenca. Adicionalmente, se mantienen los riesgos de precipitación al cambiar la temperatura de simulación.



a)



b)

Figura 200. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales carbonáticos calcita, dolomita y/o aragonito es superior a cero indicando condiciones favorables para la

precipitación en un modelo estático de especiación de las facies hidrogeoquímicas caracterizadas en la Cuenca Oriental. a) Distribución por intervalo estratigráfico. b) Distribución de acuerdo con la especiación de la muestra de agua a las temperaturas 25, 50, 100 y 150°C y temperatura de la muestra.

Condiciones termodinámicas para la precipitación de halita

De acuerdo con el modelado de especiación química realizado en muestras representativas de la Cuenca Oriental, la actividad iónica de Na^+ y Cl^- en las aguas tomadas entre 3.000 y 6.000 pies es teóricamente suficiente para alcanzar la saturación de la fase mineral de halita. El análisis identifica a la facies clorurada cálcica salmuera (Figura 164) como la facies hidrogeoquímica sensible a este proceso, sin importar la temperatura de reacción.

VII. 3. Modelo Dinámico en las facies hidrogeoquímicas en interacciones fluido-roca

Existen cambios predecibles, desde el punto de vista fisicoquímico, esperados de la interacción:

- En el contacto con una roca reservorio rica en cemento calcáreo o fragmentos de conchas/calizas, podrán existir dos procesos simultáneos: En primer lugar, considerando el equilibrio ácido - base del bicarbonato en el agua, es de esperar un aumento en el pH de la muestra simulada. Y, en segundo lugar, el índice de saturación respecto a calcita, dolomita y aragonito tendería a incrementarse. En conclusión, es posible que estos fluidos, luego de la exposición, puedan ocluir porosidades en rocas reservorio.

- En el contacto con una roca reservorio rica en evaporíticas, nódulos de anhidrita o cemento de yeso, podrán existir dos procesos simultáneos: En primer lugar, gracias a la alta solubilidad de los minerales sulfatados, la salinidad de las muestras simuladas incrementa. Y, en segundo lugar, el índice de saturación respecto a calcita, dolomita y aragonito tendería a incrementarse, pues existe un aporte de iones calcio en el sistema. En conclusión, es posible que estos fluidos puedan luego ocluir porosidades en rocas reservorio.

- En el contacto con una roca reservorio rica en halita, podrán existir dos procesos simultáneos: En primer lugar, considerando la alta solubilidad de este mineral clorurado, la salinidad y fuerza iónica de las muestras simuladas incrementaría. Y, en segundo lugar, el índice de saturación respecto a calcita, dolomita y aragonito tendería a disminuir, pues el aumento extremo de sales en el sistema genera un "efecto salino", que incrementa la capacidad del fluido para retener

carbonatos en disolución. En conclusión, es posible que estos fluidos puedan luego disolver los cementos carbonáticos preexistentes y generar o mejorar la porosidad secundaria en rocas reservorio.

- En el contacto con una roca reservorio con presencia de sulfuros, como la pirita, podrán existir dos procesos simultáneos. En primer lugar, la incorporación de hierro al sistema induce a que el índice de saturación respecto a minerales ferruginosos como la goethita y hematita tienda a incrementarse, hasta alcanzar la precipitación. Y, en segundo lugar, la severa acidificación que suele acompañar la interacción con este mineral ocasiona que el índice de saturación para la calcita, dolomita y aragonito disminuya drásticamente. En conclusión, es posible que estos fluidos actúen como agentes corrosivos capaces de disolver los cementos carbonáticos y generar porosidad secundaria en las rocas reservorio, acompañados de una precipitación local de óxidos y sulfuros de hierro.

VII. 3. 1 Cuenca Barinas Apure

El modelado de especiación química aplicado a las nueve facies hidrogeoquímicas de la Cuenca Barinas Apure al estar en contacto con minerales comúnmente encontrados en la superficie, como: calcita, dolomita, anhidrita, yeso, pirita, y halita es descrito a partir de los cambios en los índices de saturación.

Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con calcita y/o dolomita

Todas las facies hidrogeoquímicas de la cuenca presentan un índice de saturación positivo para carbonatos, aumentando su valor nominal hasta 5 o 6, incluyendo la facies bicarbonatada sódica dulce que se encontraba subsaturada (Figura 201). Las condiciones subsaturadas se establecen para los minerales sulfatados y los óxidos de hierro.

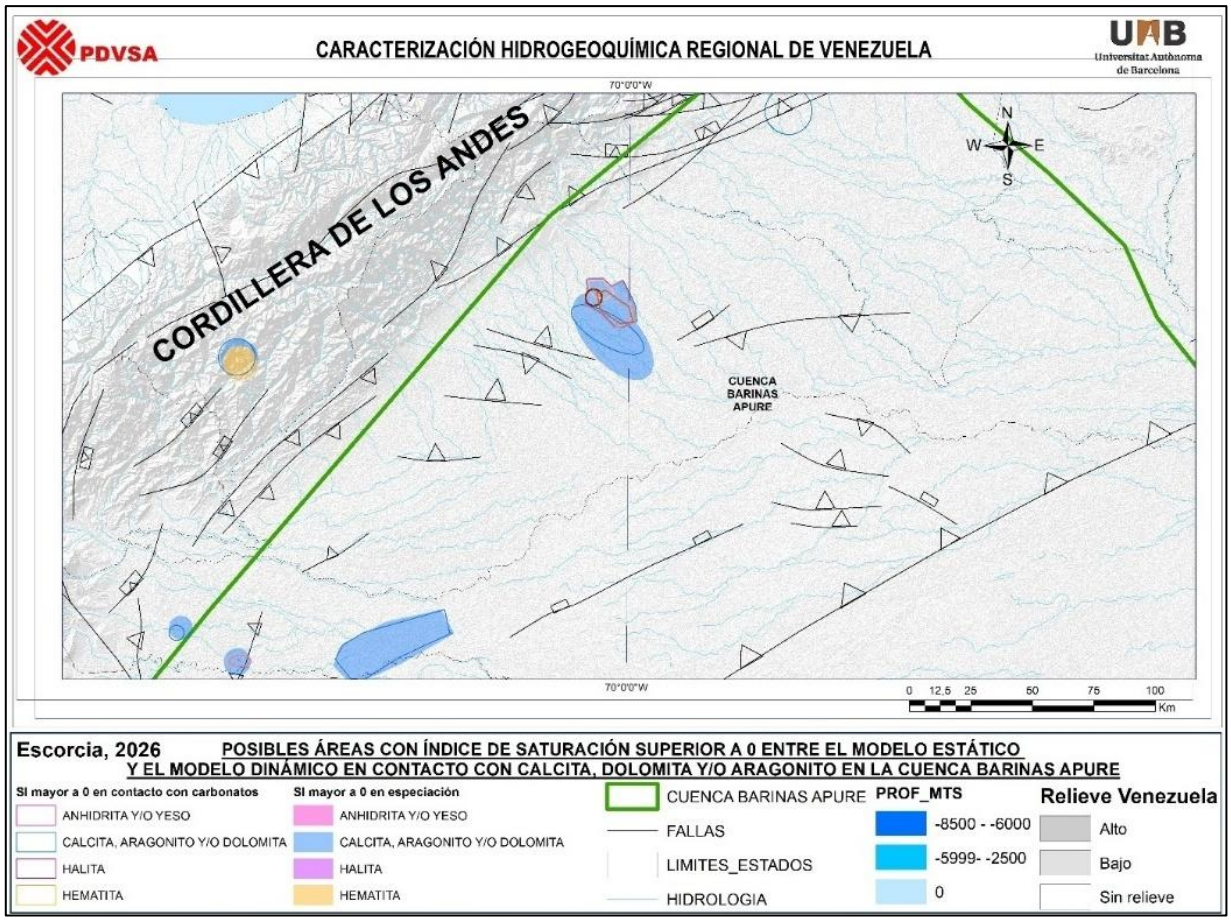


Figura 201. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a minerales carbonáticos en la Cuenca Barinas Apure.

Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con yeso y/o anhidrita

Se han identificado índices de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, yeso y anhidrita que alcanzan niveles críticos de precipitación en las trece facies hidrogeoquímicas simuladas (Figura 202). Es importante señalar que el yeso y la anhidrita alcanzan un nuevo estado de saturación en todos los niveles evaluados, ya que en las condiciones del modelo estático a la temperatura de la muestra se encuentran subsaturadas.

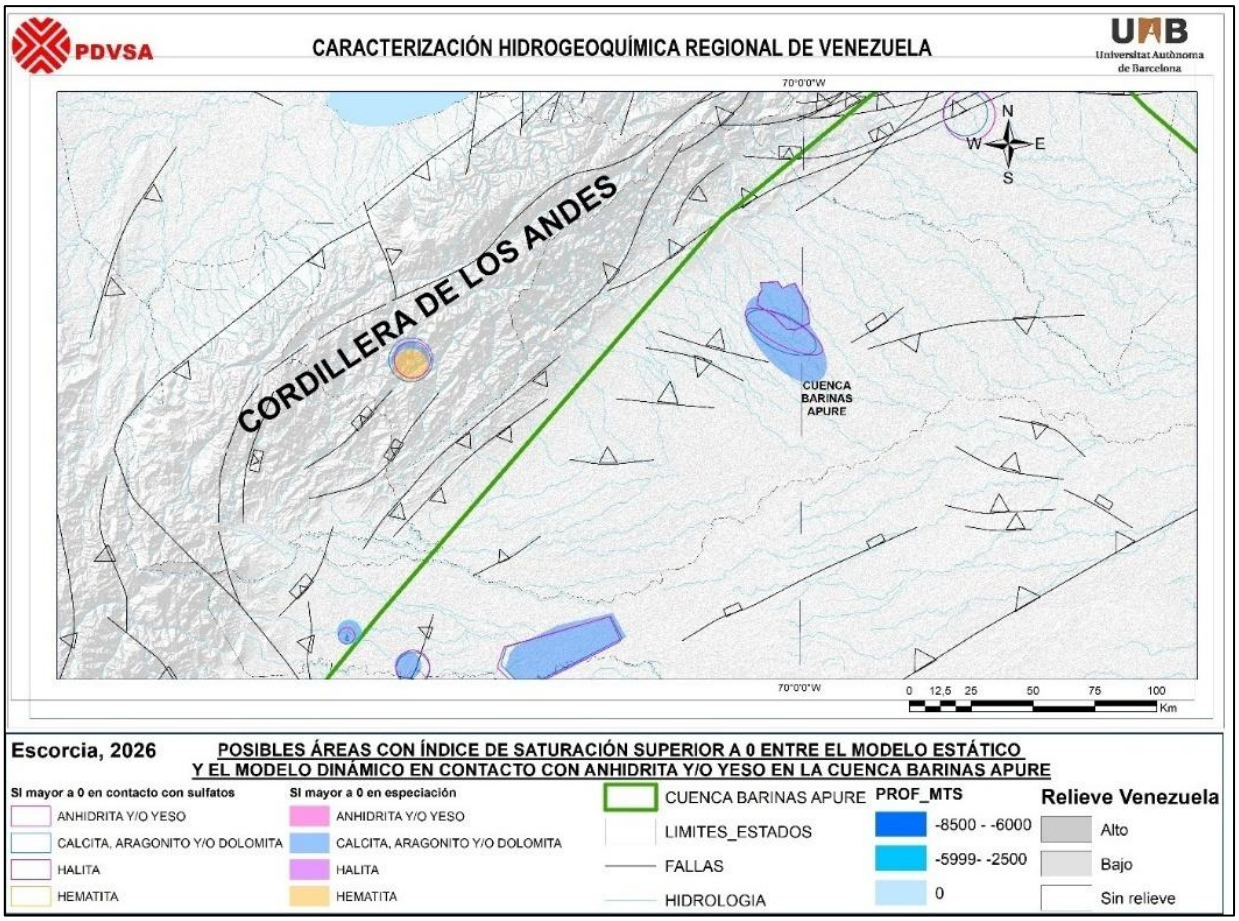


Figura 202. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a minerales ricos en sulfatos en la Cuenca Barinas Apure.

Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con halita

Como se mencionó previamente, la actividad de los iones en el agua incrementa al estrar en contacto con halita; por lo cual disminuyen los riesgos de sobresaturación. En este caso se mantienen las sobresaturadas en carbonatos las facies sulfatada sódica salobre, sulfatada sódica dulces, para el intervalo de 6.000 a 9.000 pies (~2.000 a 3.000 metros); las facies clorurada + sulfatada sódica salobre, clorurada sódica diluida salobre, clorurada sódica dulces, para el intervalo de 9.000 a 12.000 pies (~3.000 a 4.000 metros) y bicarbonatadas sódicas salobre para el intervalo de 12.000 a 15.000 pies (~4.000 a 5.000 metros) (Figura 203). Las muestras de agua permanecen subsaturadas para los minerales sulfatados y halita.

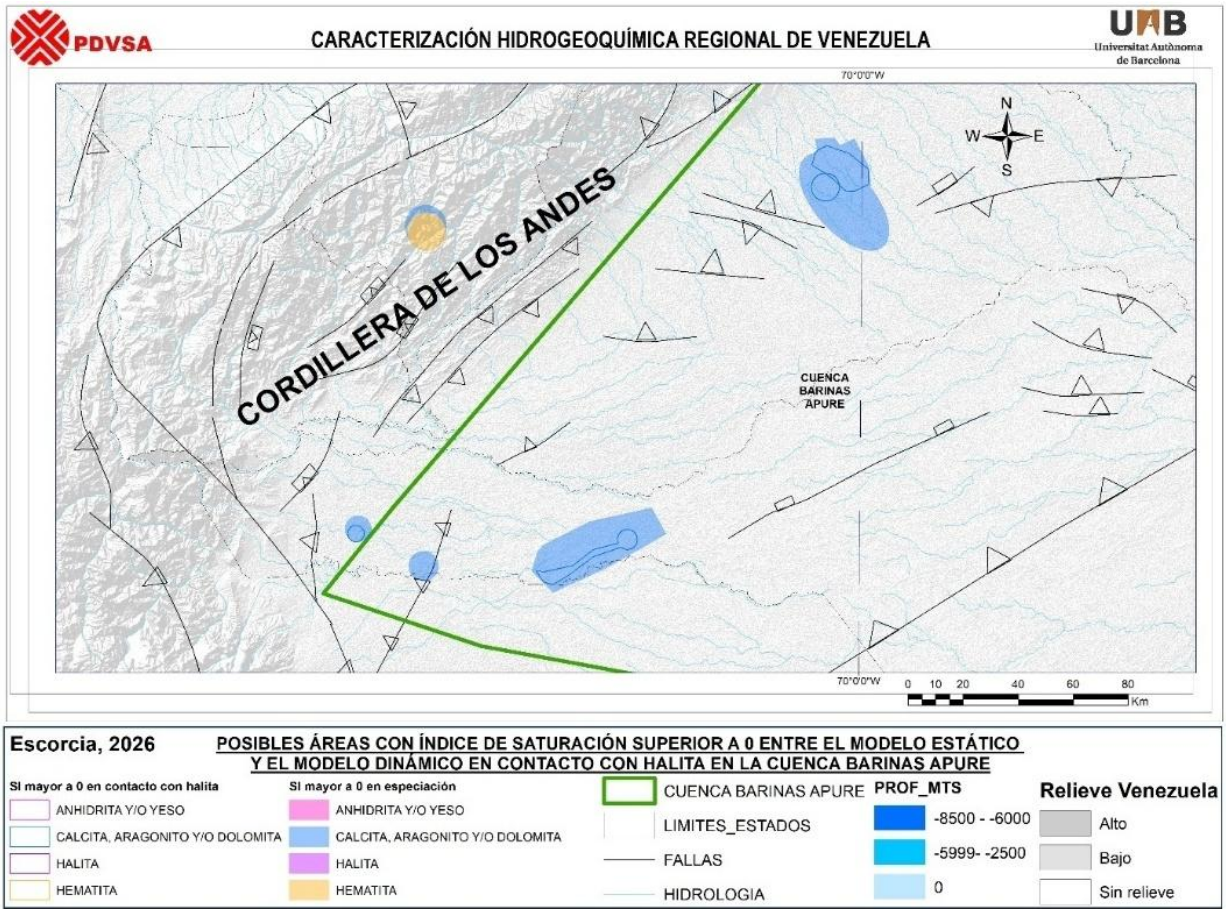


Figura 203. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a halita en la Cuenca Barinas Apure.

Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con pirita

En las trece facies hidrogeoquímicas ha habido cambios en las condiciones termodinámicas al entrar en contacto con la oxidación de pirita. Se incrementó el índice de saturación para los óxidos de hierro y se redujeron hasta la subsaturación para los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita y yeso. La sobresaturación ferruginosa ocurre de manera generalizada en todos los intervalos evaluados (Figura 204).

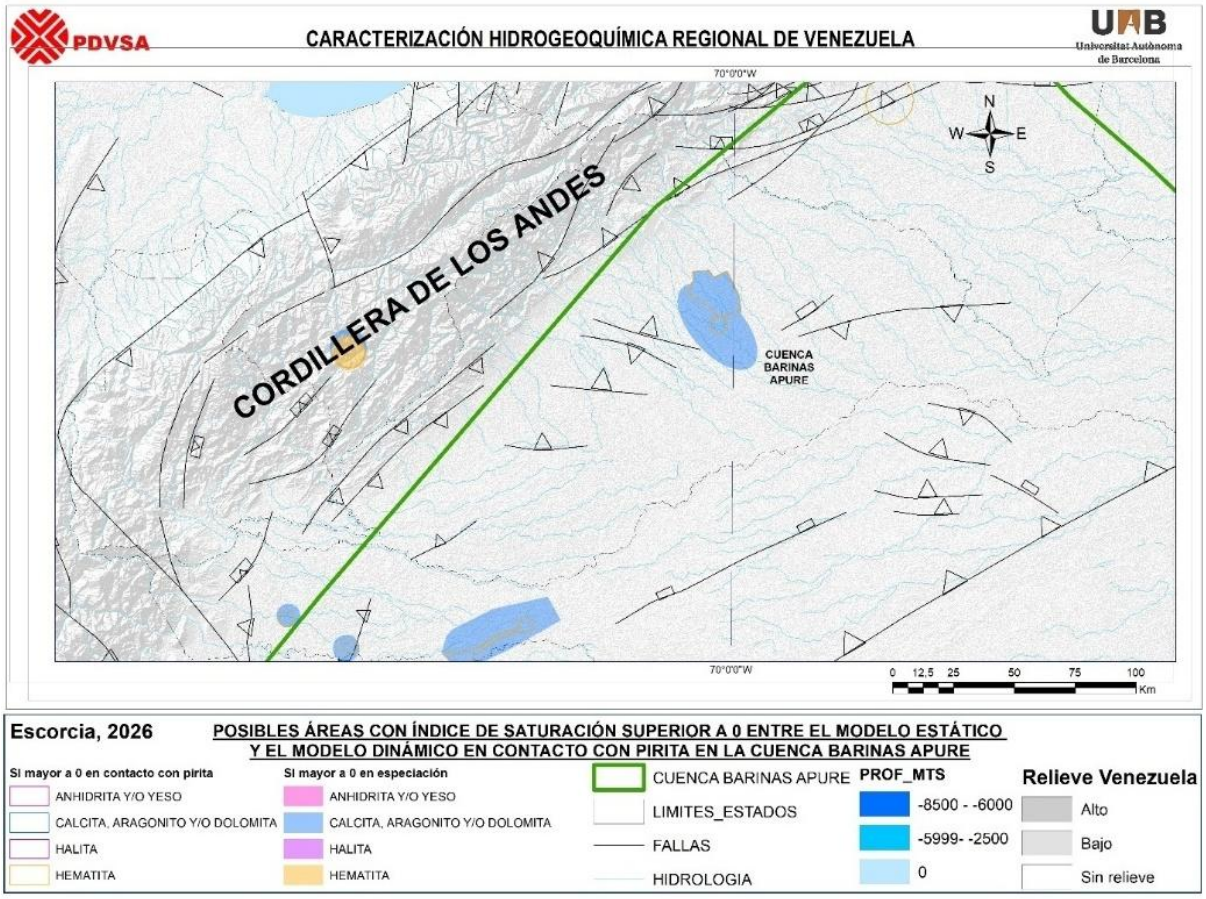


Figura 204. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a pirita en la Cuenca Barinas Apure.

VII. 3. 2 Cuenca Maracaibo Falcón

El modelado de especiación química aplicado a las veintiocho facies hidrogeoquímicas de la cuenca Maracaibo – Falcón al estar en contacto con minerales comúnmente encontrados en la superficie, como: calcita, dolomita, anhidrita, yeso, pirita, y halita es descrito a partir de los cambios en los índices de saturación.

<u>Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con calcita y/o dolomita</u>

Al simular la migración de las aguas de formación hacia rocas reservorio ricas en cementos de calcita o dolomita, el sistema experimenta un cambio a condiciones alcalinas. Este fenómeno ocurre de manera generalizada y agresiva en las facies bicarbonatadas sódicas (dulces, salobres y salinas) y en la extensa familia de las facies cloruradas sódicas, las cuales dominan los intervalos de 0 a 15.000 pies (~0 a 5.000 metros). Asimismo, impacta fuertemente a las facies bicarbonatadas cálcicas y magnésicas, y a las sulfatadas (sódicas y magnésicas). Esta alcalinización ocasiona que

los índices de saturación de la calcita, dolomita y aragonito varíen hacia una sobresaturación extrema. En consecuencia, se concluye que estos fluidos actuarían transversalmente en la cuenca como potentes agentes cementantes, porque pueden precipitar carbonatos secundarios y ocluir la porosidad de la formación.

En la Figura 205, las zonas con sombreado de color se refieren a las áreas propensas a la precipitación de acuerdo con el modelo estático y las líneas definen las áreas propensas a la precipitación de acuerdo con el modelo dinámico. Los índices de saturación mayores a cero para minerales carbonáticos son más comunes en la mayoría de los casos, varían para los sulfatos y desaparecen para los óxidos de hierro.

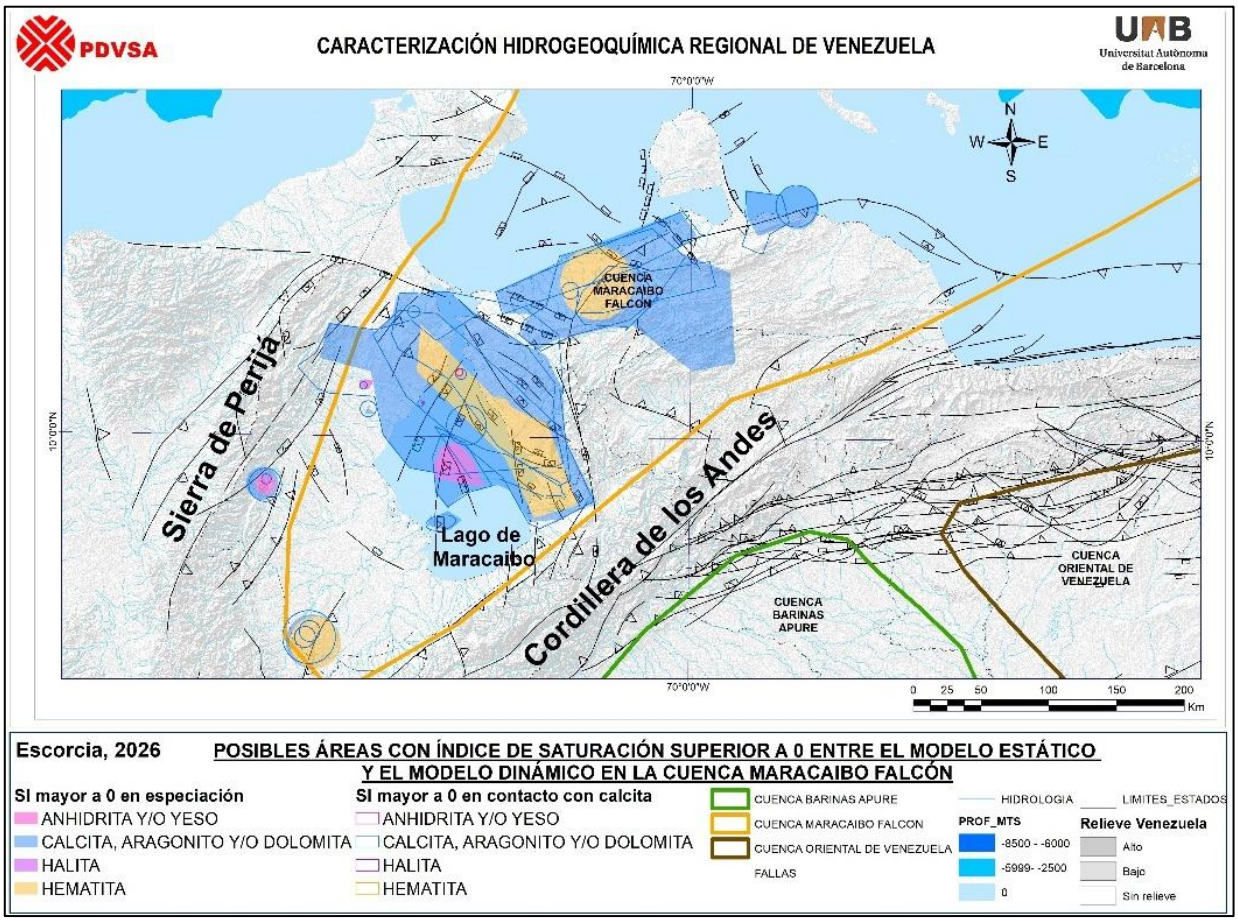


Figura 205. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a minerales carbonáticos en la Cuenca Maracaibo Falcón.

Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con yeso y/o anhidrita

La interacción con zonas ricas en minerales sulfatados como yeso y anhidrita desencadena un mecanismo termodinámico gobernado por el "efecto de ion común", tal como se mencionó en la

Cuenca Barinas Apure. Este impacto es particularmente crítico en aquellas aguas que ya poseen un alto contenido de alcalinidad original, destacando todas las facies bicarbonatadas (sódicas, cálcicas y magnésicas), en todos sus niveles de salinidad. Igualmente, el efecto se propaga en las facies cloruradas (sódicas, cálcicas y magnésicas) y en las sulfatadas, forzándolas a un estado de precipitación calcárea inminente. Por lo tanto, la disolución local de evaporitas en cualquiera de estas facies induce indirectamente una fuerte cementación que deteriora severamente las gargantas de poro del yacimiento.

Existe un grupo muy selecto de facies donde el índice de saturación no incrementa a un valor mayor a cero, manteniendo su estado de subsaturación. Estas excepciones ocurren principalmente en intervalos someros (0-1.000 pies o ~0 a 300 metros), en las facies bicarbonatada magnésica dulce, bicarbonatada sódica dulce (subfacies connata muy diluida) y cloruradas sódicas dulces (subfacies bajo SDT y mezcla con agua de mar). El equilibrio también se mantiene negativo en rangos más profundos para casos muy específicos, como la bicarbonatada sódica dulce meteórica (9.000-12.000 pies o ~3.000 a 4.000 metros), la clorurada sódica salmuera connata (9.000-12.000 pies o ~3.000 a 4.000 metros) y la clorurada sódica salobre con alta SDT (15.000-19.000 pies o ~5.000 a 6.500 metros).

En la Figura 206 se observan los polígonos que se generarían ante la exposición a sulfatos, significando la alta sensibilidad de las facies hidrogeoquímicas a la presencia de estos minerales. Los óxidos de hierro y la halita seguirían en un estado de sobresaturación.

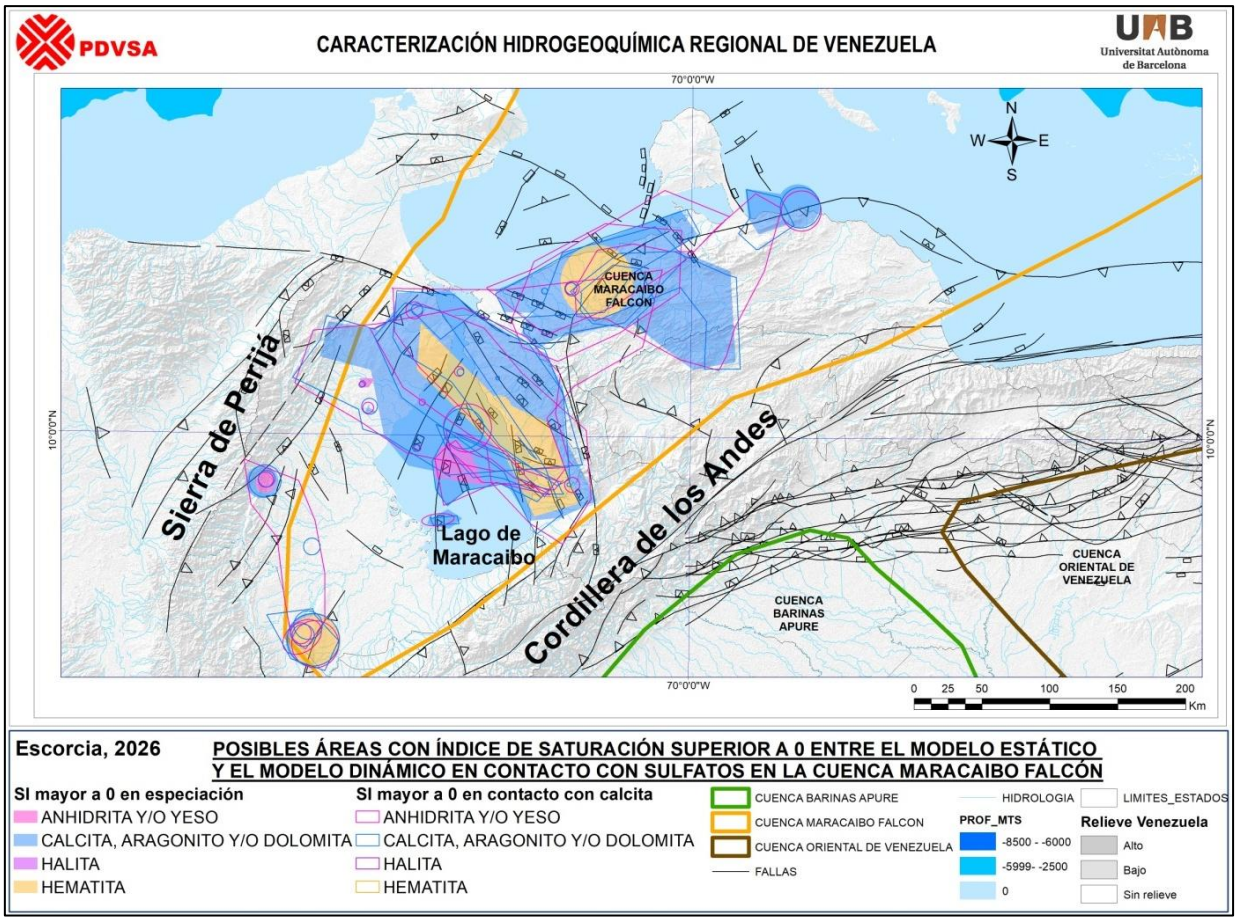


Figura 206. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a minerales ricos en sulfatos en la Cuenca Maracaibo Falcón.

Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con pirita

La reacción de las aguas de formación con pirita genera una "inversión" termodinámica. La oxidación y alteración de este sulfuro desencadena una severa acidificación. Este frente ácido no discrimina litología o concentración original, alterando el equilibrio de la totalidad de las familias presentes: bicarbonatadas (sódicas, cálcicas, magnésicas), cloruradas (sódicas, cálcicas, magnésicas) y sulfatadas (sódicas, magnésicas). Bajo estas condiciones, los índices de saturación de todos los minerales carbonáticos colapsan volviéndose netamente negativos en todas las facies (desde las subfacies meteóricas someras hasta las salmueras connatas profundas). Simultáneamente, el aporte de hierro dispara la precipitación de goethita y hematita. Se concluye que estos fluidos actuarían como agentes de lixiviación altamente corrosivos, disolviendo una posible matriz carbonática.

Existe un grupo anómalo resistente, localizado principalmente entre los 6.000 y 15.000 pies de profundidad (~2.000 a 5.000 metros). Este grupo, conformado enteramente por facies salinas y salmueras connatas (tanto cloruradas, bicarbonatadas como sulfatadas), posee un efecto buffer

natural por su alta fuerza iónica que neutraliza la extrema acidificación, manteniendo sus índices de saturación de calcita y dolomita por encima del umbral de precipitación.

En la Figura 207, se observa la reducción máxima de los polígonos con índices de saturación para carbonatos superior a la unidad y se incrementan los polígonos con índices de saturación para óxidos de hierro superior a la unidad.

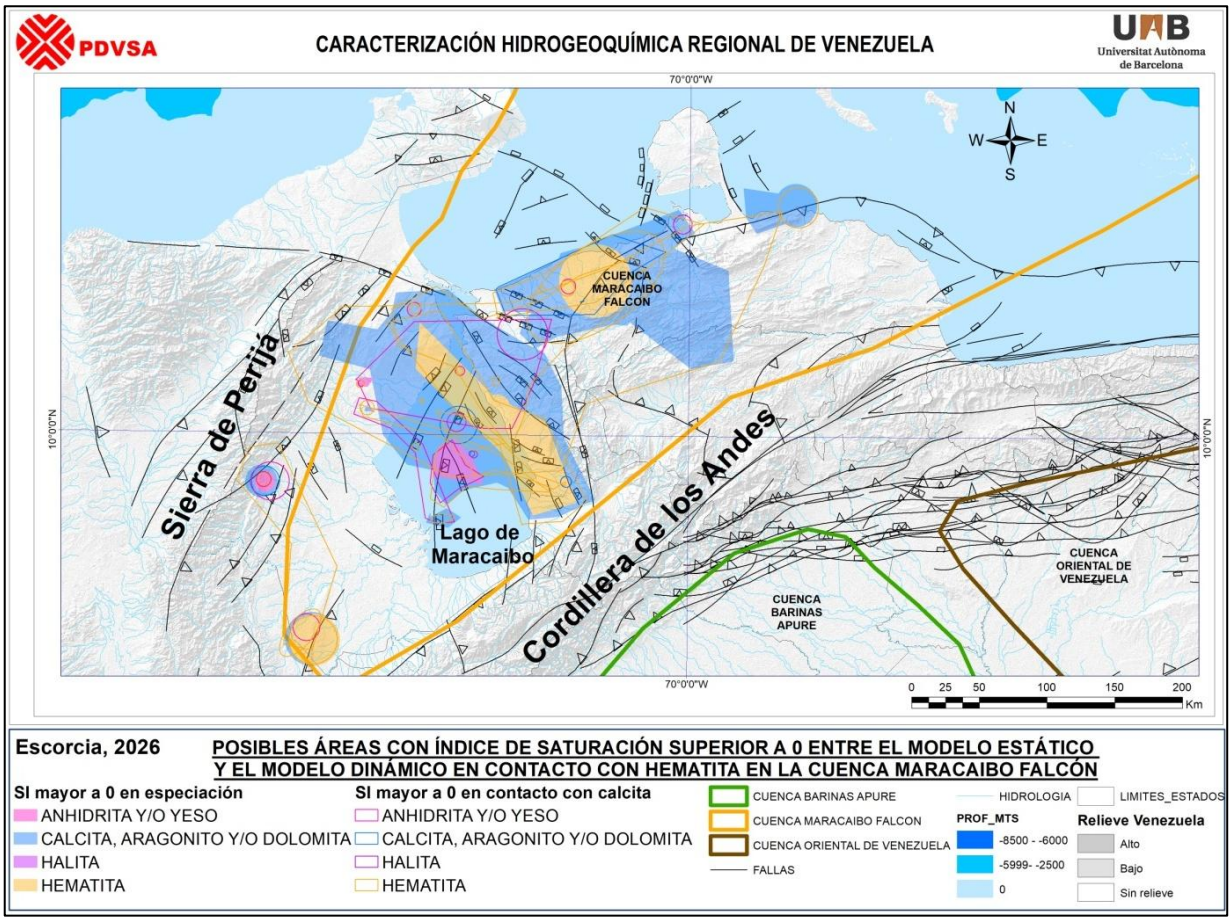


Figura 207. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a pirita en la Cuenca Maracaibo Falcón.

Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con halita

Cuando las muestras simuladas interactúan con halita, el balance fisicoquímico del fluido pasa a estar controlado por el "efecto salino". Este fenómeno de disolución inducida impacta a toda la cuenca, y en todas las subfacies, pero se evidencia con mayor agresividad en las aguas que ya presentan alta salinidad intrínseca, como las facies cloruradas sódicas y cálcicas (en sus subfacies salinas y salmueras connatas) presentes hasta profundidades de 19.000 pies, y en las facies bicarbonatadas sódicas salobres y salinas. También logra revertir la saturación en los fluidos más someros, como las facies sulfatadas y bicarbonatadas dulces. En conclusión, este contacto aumenta la capacidad del fluido para disolver cementos carbonáticos preexistentes, propiciando la

generación de porosidad secundaria. Las áreas con riesgo de precipitación se reducen ligeramente para carbonatos y para sulfatos y desaparecen para los óxidos de hierro (Figura 208).

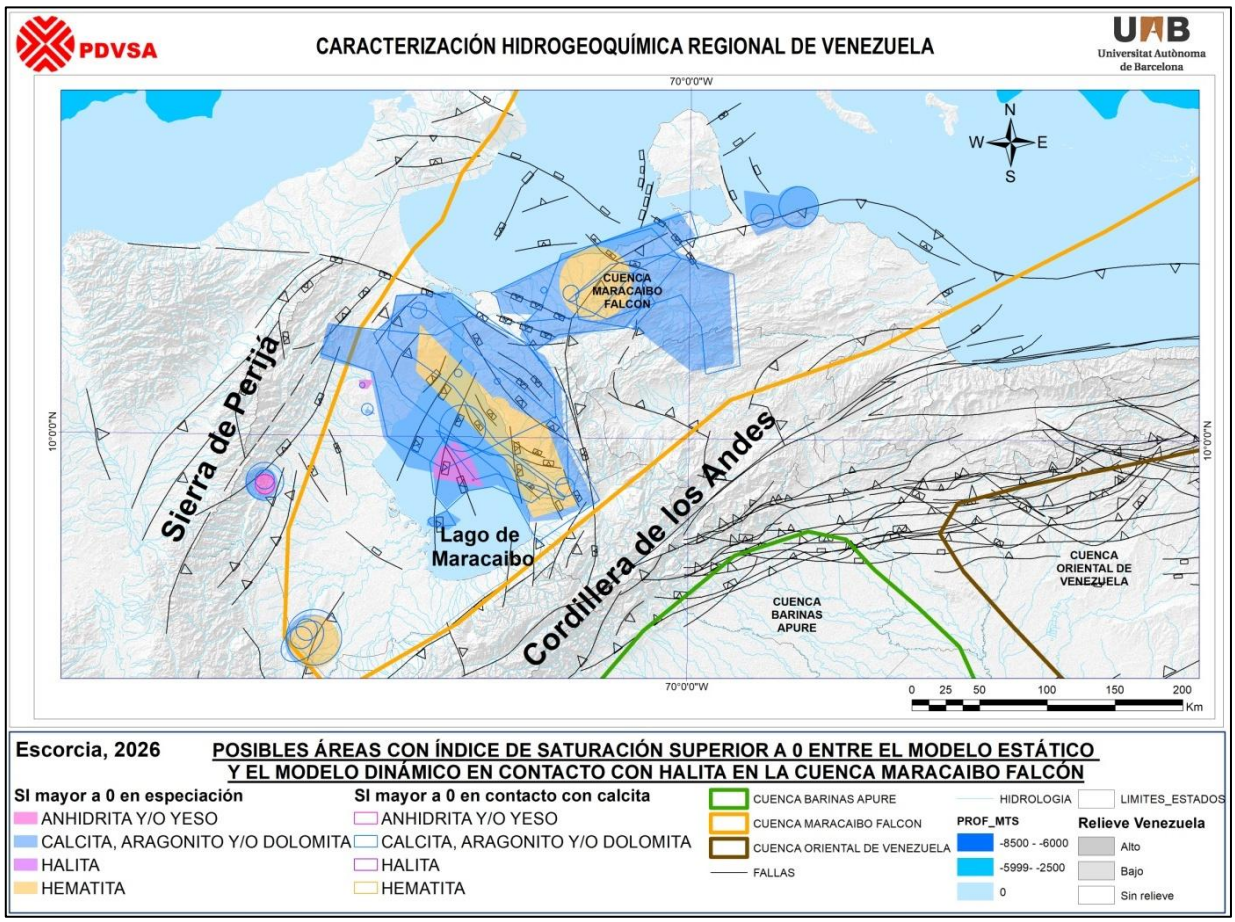


Figura 208. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a halita en la Cuenca Oriental de Venezuela.

VII. 3. 3 Cuenca Oriental de Venezuela

El modelado de especiación química aplicado a las treinta y cinco facies hidrogeoquímicas de la Cuenca Oriental de Venezuela al estar en contacto con minerales comúnmente encontrados en la superficie, como: calcita, dolomita, anhidrita, yeso, pirita, y halita es descrito a partir de los cambios en los índices de saturación.

<u>Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con calcita y/o dolomita</u>

Al simular la migración de los fluidos hacia rocas reservorio dominadas por calcita o dolomita en la Cuenca Oriental, el sistema simula nuevamente un cambio hacia ambientes alcalinos. Absolutamente todas las facies hidrogeoquímicas evaluadas (las 112 muestras), incrementan sus índices de saturación hasta alcanzar valores muy superiores a cero. En consecuencia, el contacto

con carbonatos conlleva a una precipitación inminente de cementos secundarios y oclusión de la porosidad primaria.

Adicionalmente, en las facies: 1) bicarbonatada sódica salina (9.000 a 12.000 pies o ~3.000 a 4.000 metros; M-940), 2) cloruradas sódicas mezcla con agua de mar (0 a 1.000 pies o ~0 a 300 metros; M-383 y M-384) y 3) sulfatada sódica salobre (0 a 1.000 pies o ~0 a 300 metros; M-241) existe una condición termodinámica favorable para la precipitación de yeso y/o anhidrita, debido prioritariamente al incremento del calcio en el sistema, que conlleva a saturar aquellas soluciones en las cuales era el reactivo limitante.

En general el área de riesgo por precipitación de carbonatos se mantiene o se incrementa ligeramente y se generan nuevas áreas de riesgo para la precipitación de sulfatos (Figura 209).

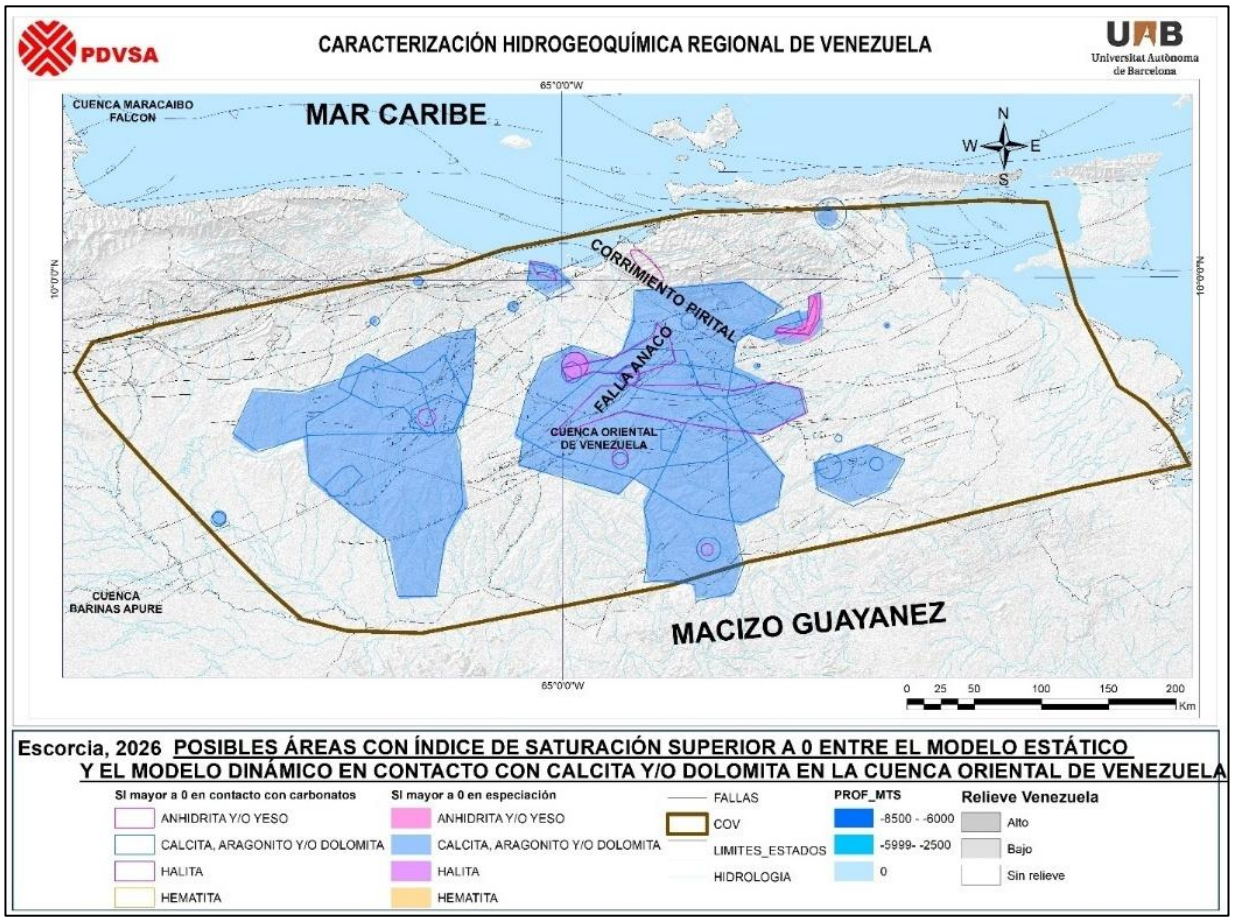


Figura 209. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a minerales carbonáticos en la Cuenca Oriental de Venezuela.

Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con yeso y/o anhidrita

La interacción de las aguas de formación con zonas ricas en evaporitas sulfatadas desencadena el aporte masivo de calcio. Este fenómeno altera el balance iónico y fuerza la precipitación carbonática colateral en la vasta mayoría de las muestras de la cuenca. Sin embargo, existe un grupo muy selecto de facies donde el índice de saturación de los carbonatos no incrementa a un valor mayor a cero, manteniendo su estado de subsaturación. Estas excepciones son exclusivamente fluidos de muy baja salinidad y ocurren en intervalos principalmente someros a intermedios (0 a 6.000 pies o ~0 a 2.000 metros). Destacan la facies bicarbonatada sódica dulce (en sus subfacies meteórica con posible intercambio y subfacies mezcla), y la facies clorurada sódica dulce (subfacies muy diluida con SDT bajo). En estos fluidos específicos, la disolución de sulfatos no logra romper el umbral de precipitación de la calcita, pero si para yeso y/o anhidrita.

A nivel de la distribución areal, nuevamente la posible interacción fluidos con rocas sulfatadas incrementa el área de riesgo para precipitación de carbonato y de sulfatos (Figura 210).

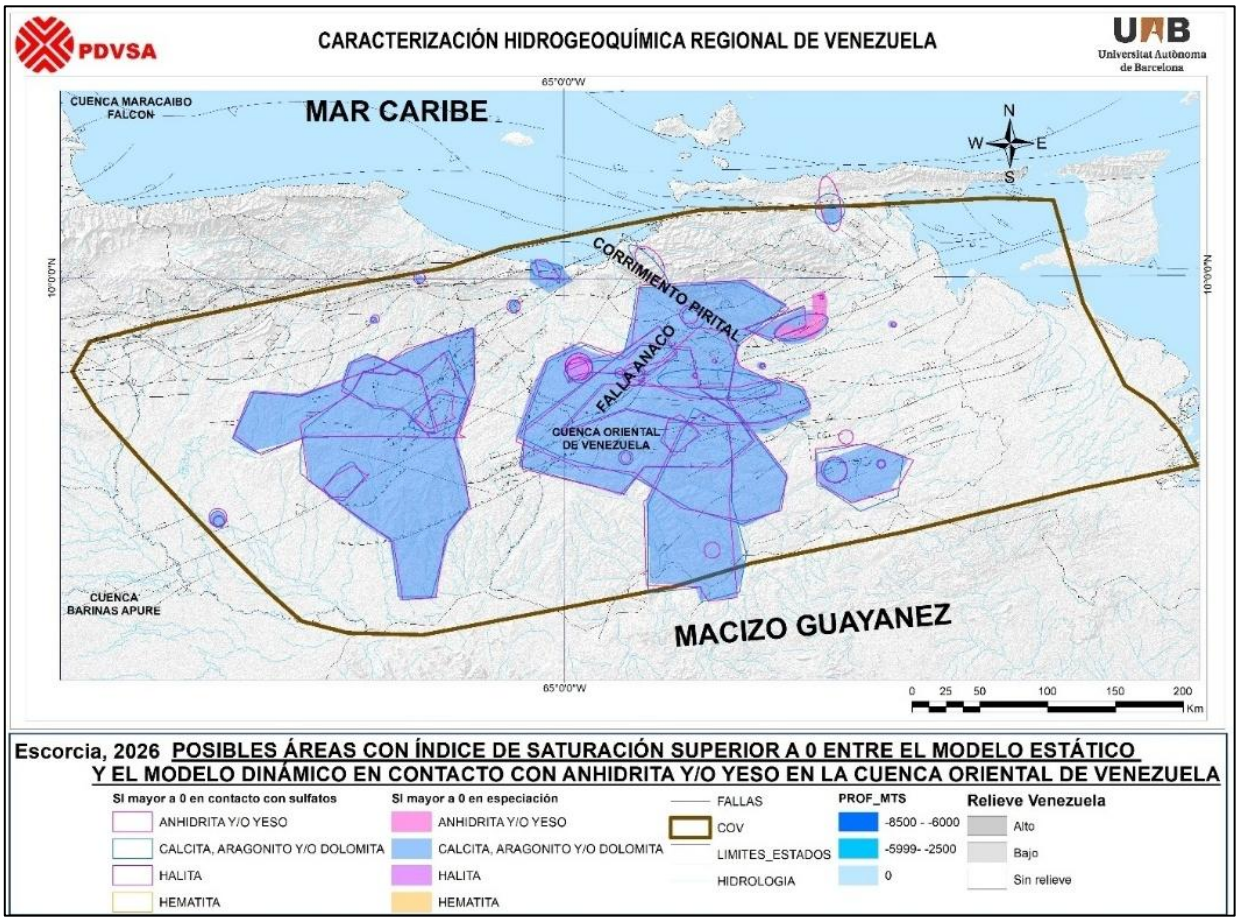


Figura 210. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a minerales ricos en sulfatos en la Cuenca Oriental de Venezuela.

Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con halita

Cuando las muestras simuladas de la Cuenca Oriental interactúan con halita, la extrema disolución de cloruros eleva la fuerza iónica del agua, ocasionando que los índices de saturación respecto a los otros minerales disminuyan. Gracias a este mecanismo, el índice de saturación no logra alcanzar valores mayores a cero en una amplia familia de aguas a lo largo de toda la columna estratigráfica. Entre los fluidos que mantienen su capacidad de disolución se encuentran las facies bicarbonatadas (cálcicas y sódicas dulces) y las cloruradas sódicas dulces en todas sus subfacies (0 a 12.000 pies o ~0 a 4.000 metros). Asimismo, el índice de saturación permanece inferior a cero en parte de las facies salinas y salobres, como la clorurada cálcica salobre (6.000 a 15.000 pies o ~2.000 a 5.000 metros) y las cloruradas sódicas (salinas, salobres y salmueras connatas diluidas) presentes hasta los 19.000 pies (~6.500 metros). En todos estos escenarios, la inyección salina previene la cementación y fomenta la disolución secundaria (Figura 211).

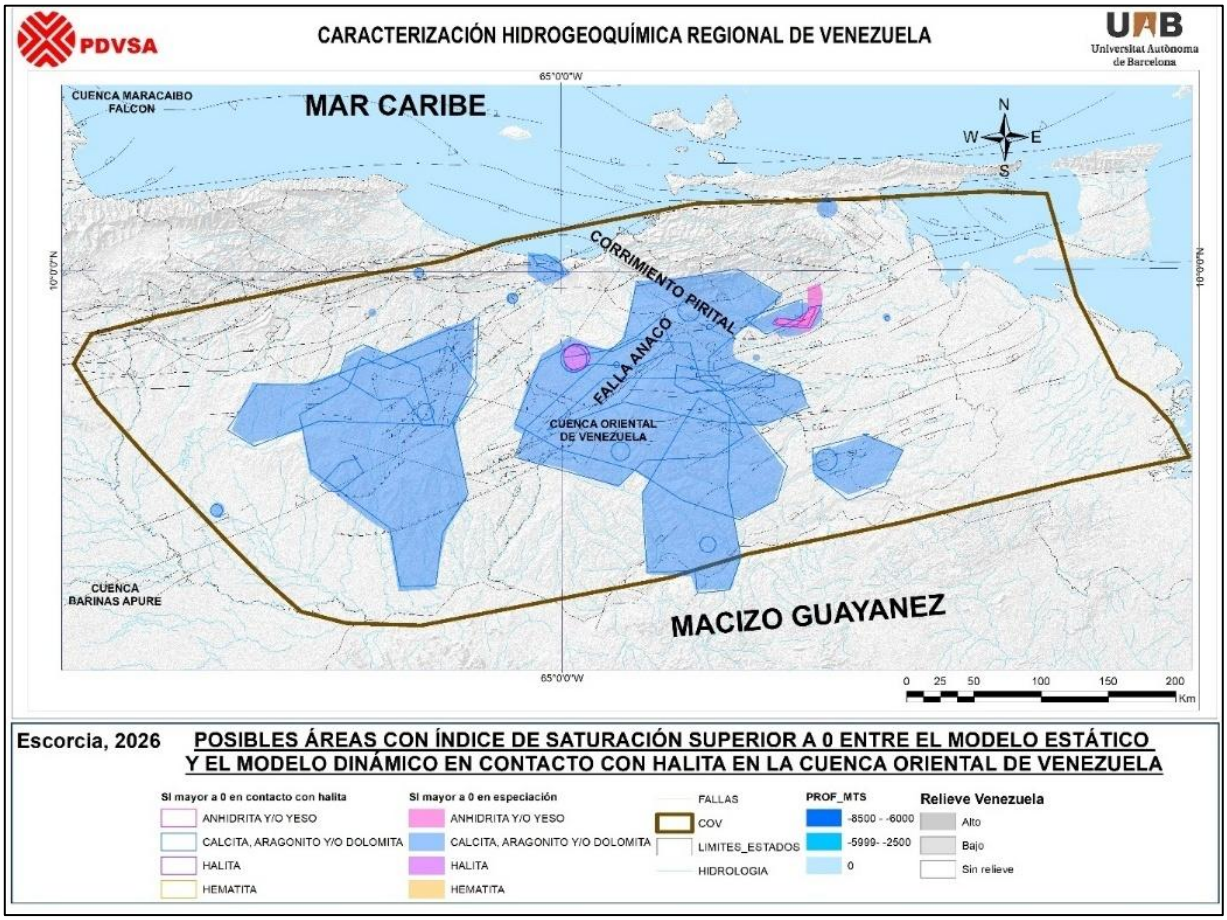


Figura 211. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a halita en la Cuenca Oriental de Venezuela.

Condiciones termodinámicas cuando se encuentra en contacto con pirita

La oxidación de la pirita desencadena la inyección de ácido sulfúrico al medio, causando una disminución del pH que convierte a casi la totalidad de la Cuenca Oriental en un frente lixiviante. Debido a esta extrema acidificación, el índice de saturación de los carbonatos colapsa y no logra incrementar a un valor mayor a cero en 111 de las 112 facies evaluadas, volviéndose altamente corrosivas frente a la matriz de la roca. No obstante, el modelado reveló una única anomalía geoquímica que si logra incrementar su valor a mayor a cero (0) y resistir el ataque ácido: la Facies clorurada cálcica salmuera presente en el intervalo más profundo (15.000 a 19.000 pies o ~5.000 a 6.500 metros, pozo M-987). Esta salmuera hipersalina y de alta temperatura (131 °C) posee una fuerza iónica tan alta que actúa como un "buffer" termodinámico invulnerable.

En la Figura 212 se observa la extensión del área de riesgo para la precipitación de óxidos de hierro.

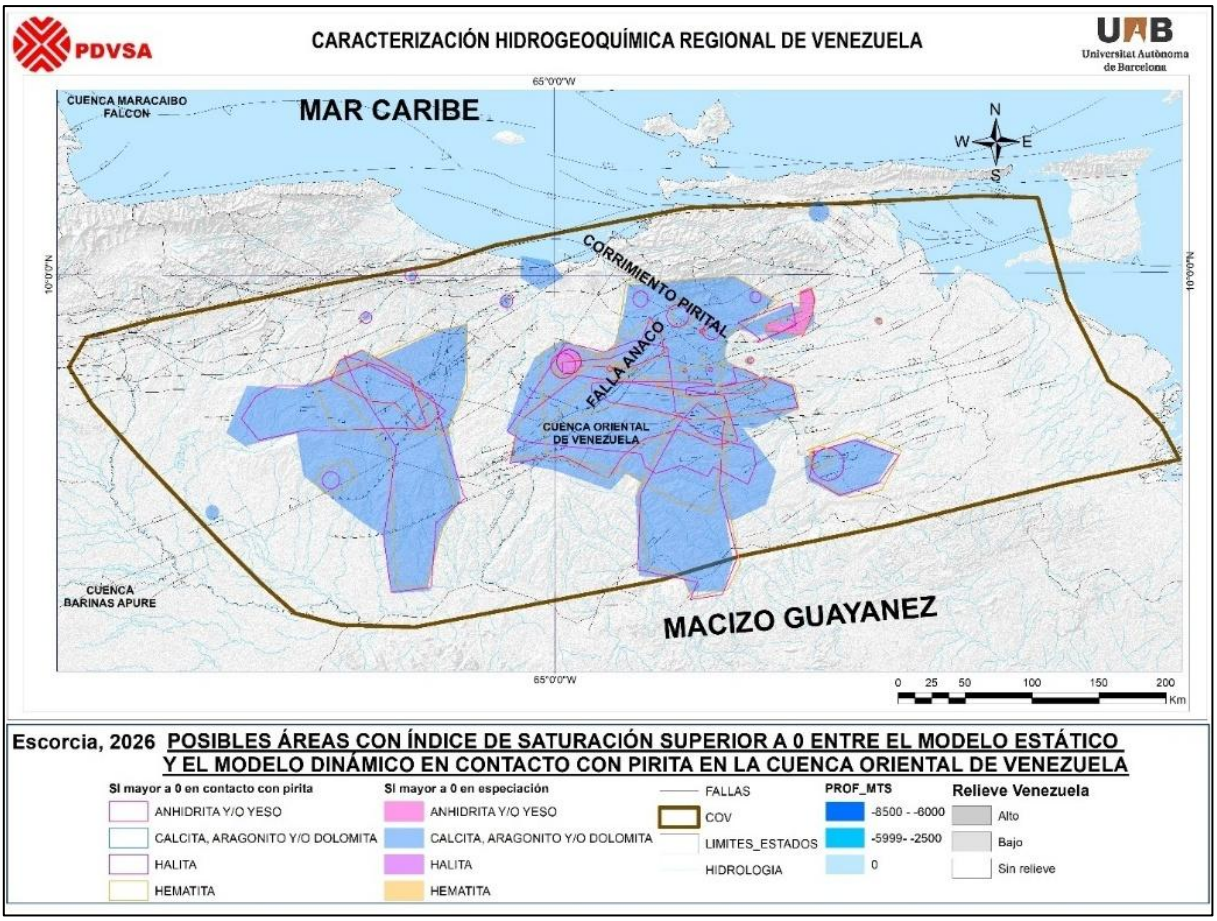


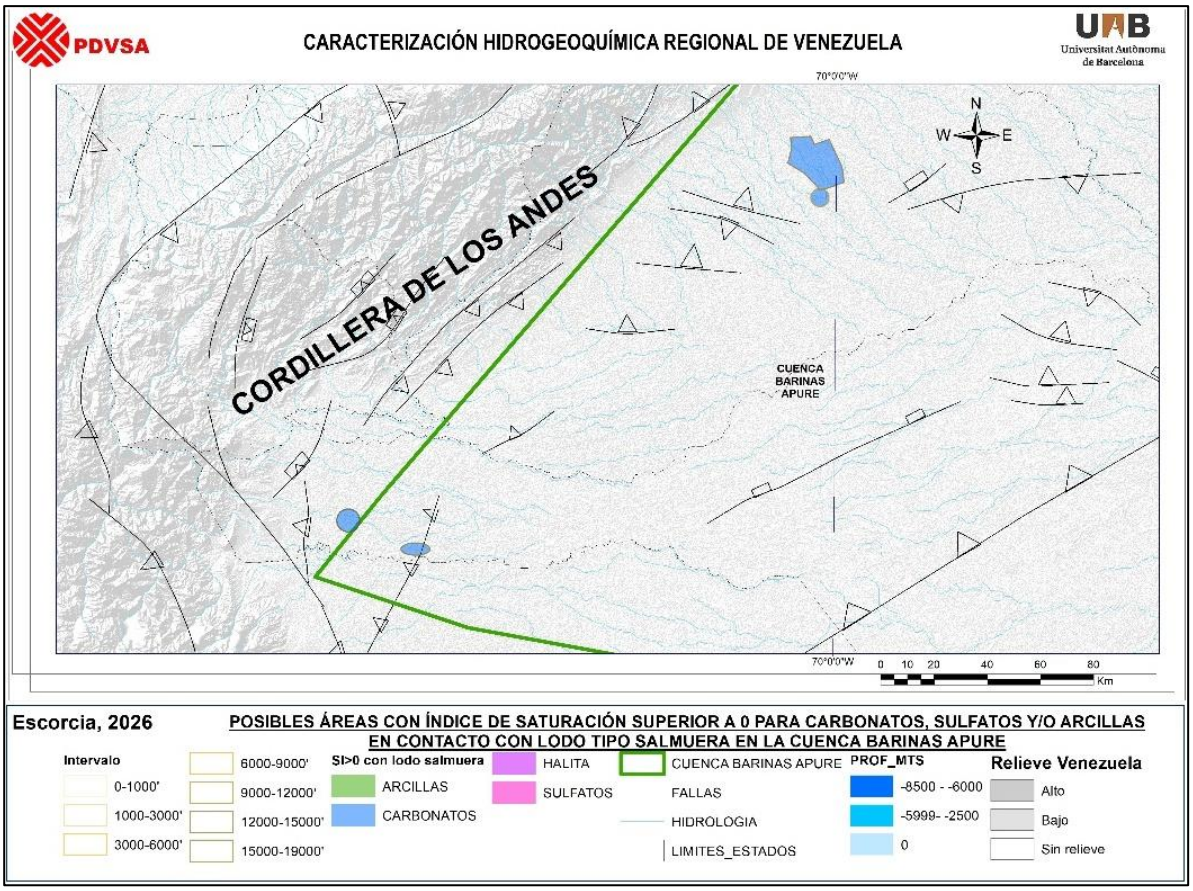
Figura 212. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, pirita, y halita es superior a cero luego de la exposición a pirita en la Cuenca Oriental de Venezuela.

VII. 4. Posibles riesgos de cementación en pozos o en la mezcla de aguas

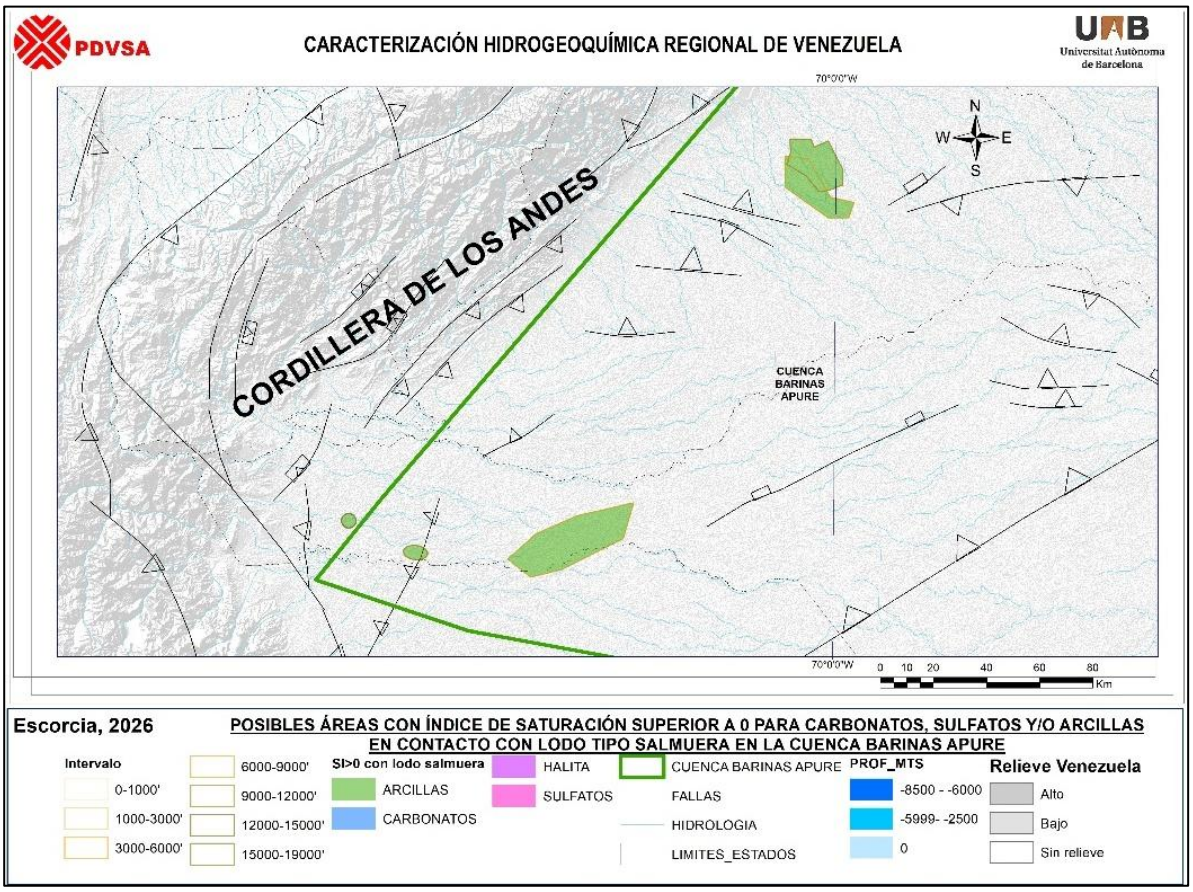
El cuarto análisis que se realizó intenta ser predictivo, para el uso de lodos base agua o la filtración de aguas meteóricas, en áreas cercanas a las facies hidrogeoquímicas establecidas en este estudio. Para ello se tomó de cada una de las cuencas una muestra meteórica dulce bicarbonatada sódica (M-1002, M-425 y M-752) como el agua meteórica que podría infiltrarse y una muestra connata salmuera clorurada sódica (M-873, M-25 y M-147) como símil a un lodo tipo salmuera que se usaría en una perforación de un pozo. Y entonces, se simuló el proceso de mezcla en porcentajes de 25, 50 y 75% entre estas muestras y cada una de las facies hidrogeoquímicas. El objetivo, es simular los procesos de mezcla para predecir la precipitación de minerales que puedan disminuir la calidad del reservorio y los resultados se sintetizan en la Tabla 44.

En la Cuenca Barinas Apure, luego de la simulación, no se observó un cambio significativo de signo en el índice de saturación de las simulaciones para los minerales carbonatados y sulfatados. Los minerales carbonáticos se encontraban sobresaturados previo a la mezcla y los minerales sulfatados como yeso y anhidrita se mantuvieron negativos. Los índices de saturación para la halita se mantuvieron consistentemente negativos (IS < -7,0) en todos los escenarios de invasión de lodo. Esto confirma que el sistema hidrogeoquímico de la cuenca, caracterizado por aguas de baja salinidad, posee una alta capacidad de disolución, descartando cualquier riesgo de daño a la formación por precipitación de sales durante la interacción fluido-roca.

En específico, para las simulaciones con lodo tipo salmuera, en la visualización de las áreas con riesgo de precipitación, el área de carbonatos disminuye (Figura 213) y las áreas con posibilidad de neoformación de arcillas ocurre para todas las facies hidrogeoquímicas (Figura 214). Para las simulaciones con agua meteórica, el área de riesgo para la precipitación de carbonatos incrementa y el área con riesgo para la neoformación de arcillas se restringe (Figura 214).



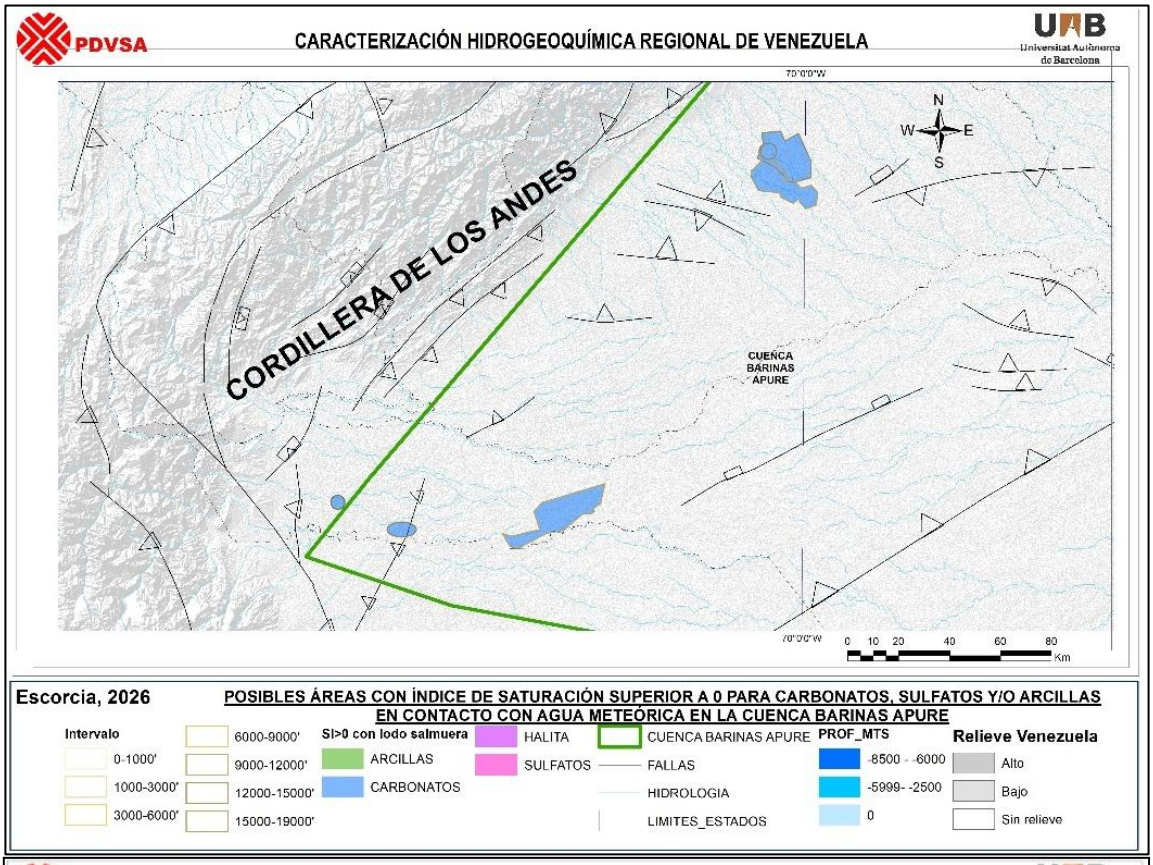
a)



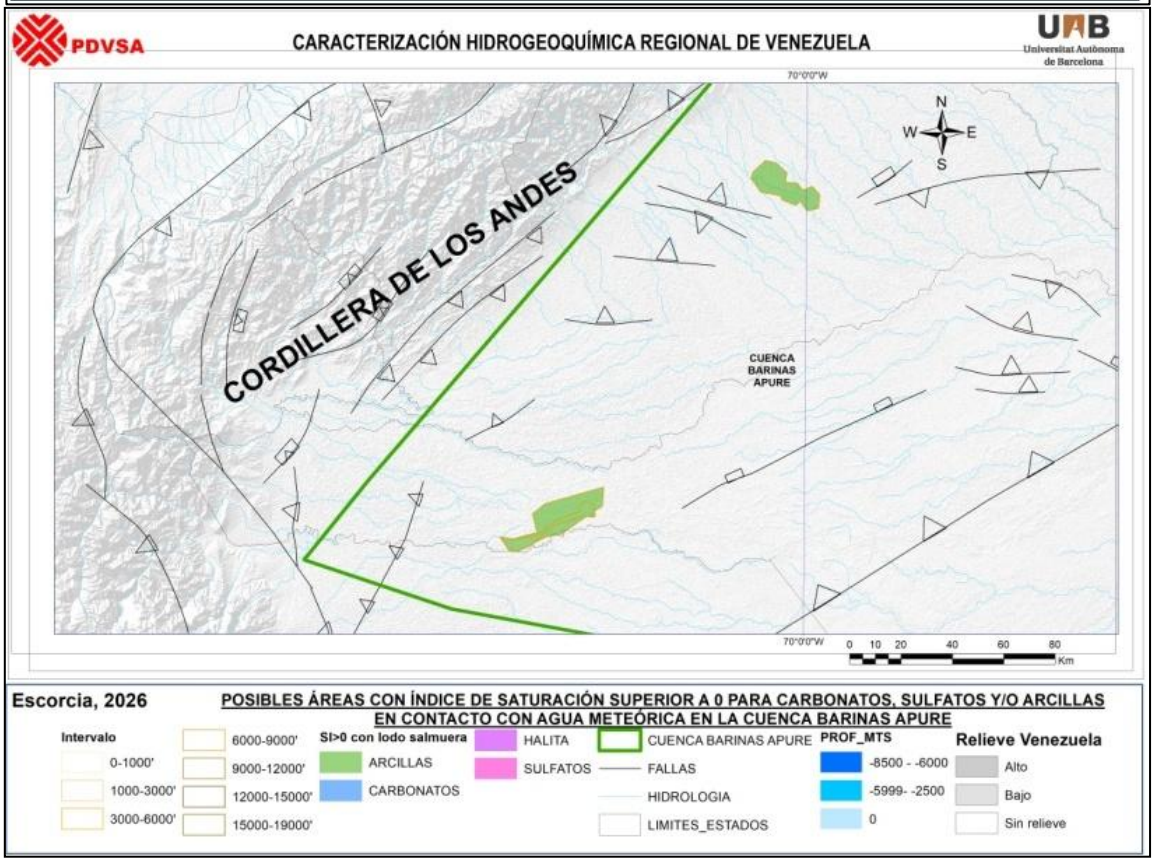
b)

Figura 213. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales es superior a cero luego de la exposición a lodo tipo salmuera en la Cuenca Barinas Apure. a) Minerales

carbonáticos como calcita, dolomita y/o aragonito, b) Minerales de arcillas. Relación del riesgo de taponamiento en la producción de pozos petroleros.



a)



b)

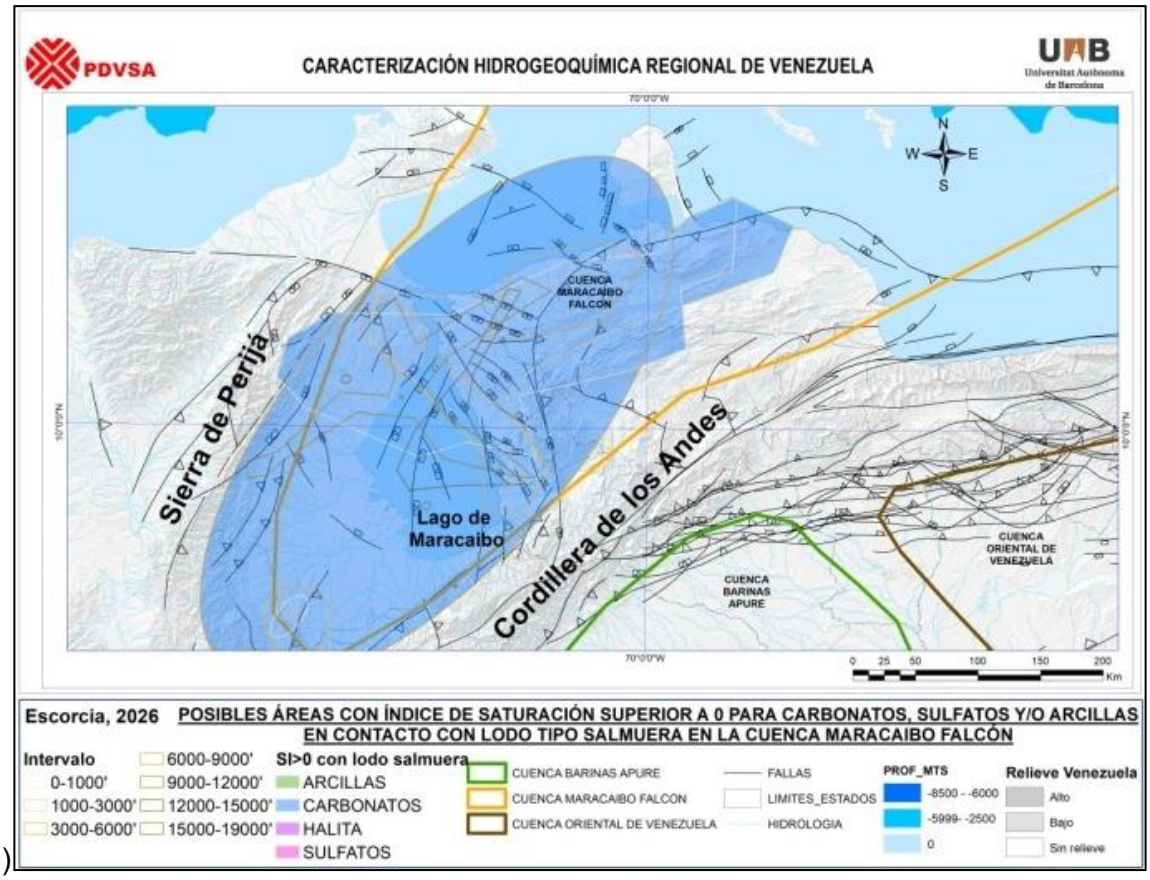
Figura 214. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación es superior a cero luego de la exposición a aguas meteóricas en la Cuenca Barinas Apure. a) Minerales carbonáticos como calcita,

dolomita y/o aragonito, b) Minerales de arcillas. Relación del riesgo de taponamiento en la producción de pozos petroleros.

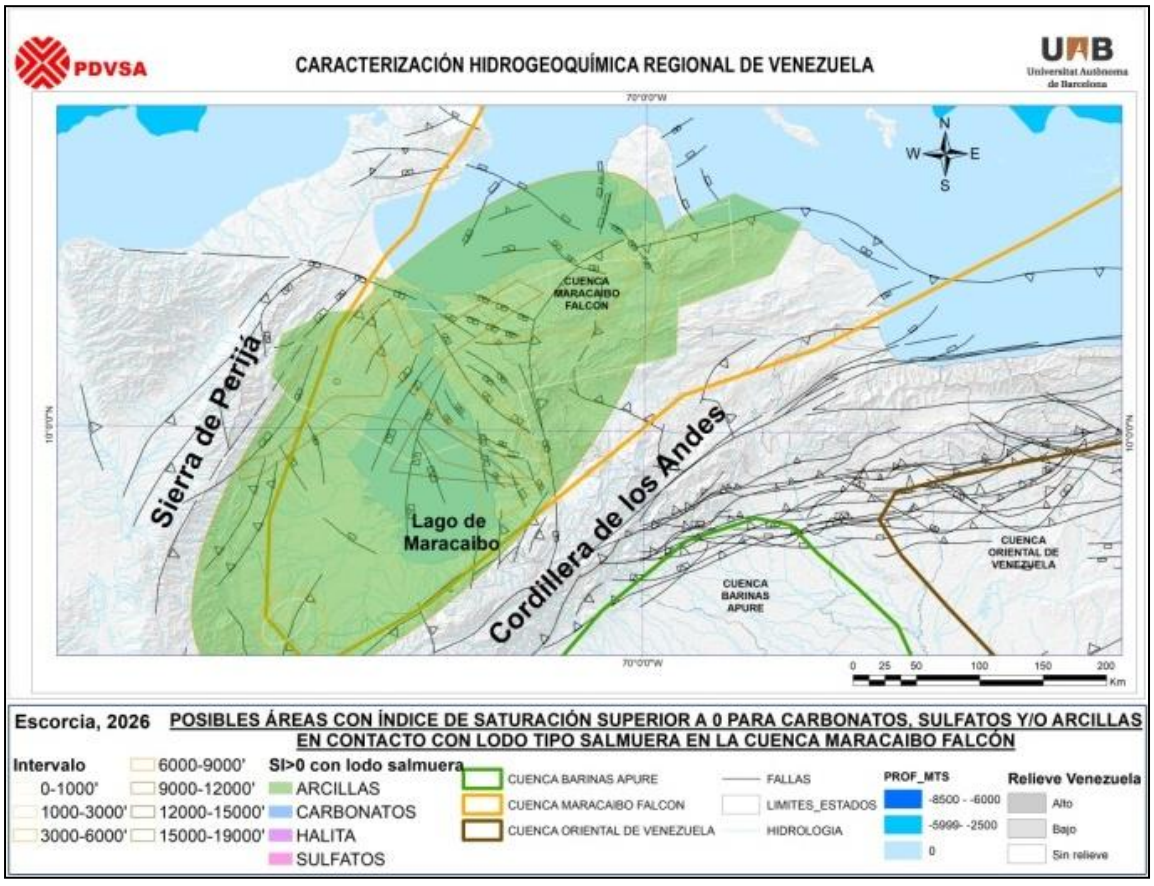
El análisis termodinámico de la Cuenca Maracaibo Falcón revela un comportamiento dual dependiente del agente invasor. Mientras que, en la incursión de lodo tipo salmuera, los índices de saturación de carbonatos se elevan; en la invasión de agua meteórica ocurre una inversión geoquímica en un grupo significativo de muestras (ej. M-732, M-79, M-939). Este comportamiento diferencia drásticamente a esta cuenca de la de Barinas Apure (Figura 215 y Figura 216). En este caso el índice de saturación para los sulfatos se acerca más al equilibrio, lo que podría ser un riesgo inminente de daño a la formación por precipitación de sulfatos, ante fluctuaciones térmicas o de condiciones óxido reducción, el área con posible riesgo de precipitación se encuentra sobre la Falla de Icotea. Para la posible neoformación de las arcillas, en las simulaciones con lodo tipo salmuera el riesgo es elevado y en la mezcla con agua meteórica se restringe mayormente al norte.

Los datos en la incursión de agua meteórica se caracterizan por tener un índice de saturación bajo y salinidades intermedias, notable sobre todo hacia el suroeste de la cuenca. En estos casos, el sistema transita de un estado de precipitación basal a uno de disolución activa (IS < 0), lo que sugiere que la infiltración de aguas dulces superficiales podría disminuir el riesgo de cementación secundaria e incluso mejorar la porosidad local mediante la remoción de calcita autigénica.

En la Cuenca Maracaibo Falcón, el escenario de incursión de lodo tipo salmuera es el más agresivo, elevando los índices de saturación de calcita a niveles de alto riesgo (SI > 2,8 en pozos como el M-111), lo que sugiere una oclusión inminente de gargantas porales.


PDVSA
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL DE VENEZUELA
UAB
Universitat Autònoma de Barcelona
70°0'0"W
N
W
E
S
CUENCA MARACAIBO FALCÓN
Sierra de Perijá
Lago de Maracaibo
Cordillera de los Andes
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
CUENCA BARINAS APURE
0 25 50 100 150 200 Km
Escorcia, 2026
POSIBLES ÁREAS CON ÍNDICE DE SATURACIÓN SUPERIOR A 0 PARA CARBONATOS, SULFATOS Y/O ARCILLAS EN CONTACTO CON LODO TIPO SALMUERA EN LA CUENCA MARACAIBO FALCÓN
Intervalo
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
SI>0 con lodo salmuera
ARCILLAS
CARBONATOS
HALITA
SULFATOS
CUENCA BARINAS APURE
CUENCA MARACAIBO FALCON
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
FALLAS
LIMITES_ESTADOS
HIDROLOGIA
PROF_MTS
-8500 - -6000
-5999- -2500
0
Relieve Venezuela
Alto
Bajo
Sin relieve

a)


PDVSA
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL DE VENEZUELA
UAB
Universitat Autònoma de Barcelona
70°0'0"W
N
W
E
S
CUENCA MARACAIBO FALCÓN
Sierra de Perijá
Lago de Maracaibo
Cordillera de los Andes
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
CUENCA BARINAS APURE
0 25 50 100 150 200 Km
Escorcia, 2026
POSIBLES ÁREAS CON ÍNDICE DE SATURACIÓN SUPERIOR A 0 PARA CARBONATOS, SULFATOS Y/O ARCILLAS EN CONTACTO CON LODO TIPO SALMUERA EN LA CUENCA MARACAIBO FALCÓN
Intervalo
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
SI>0 con lodo salmuera
ARCILLAS
CARBONATOS
HALITA
SULFATOS
CUENCA BARINAS APURE
CUENCA MARACAIBO FALCON
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
FALLAS
LIMITES_ESTADOS
HIDROLOGIA
PROF_MTS
-8500 - -6000
-5999- -2500
0
Relieve Venezuela
Alto
Bajo
Sin relieve

b)

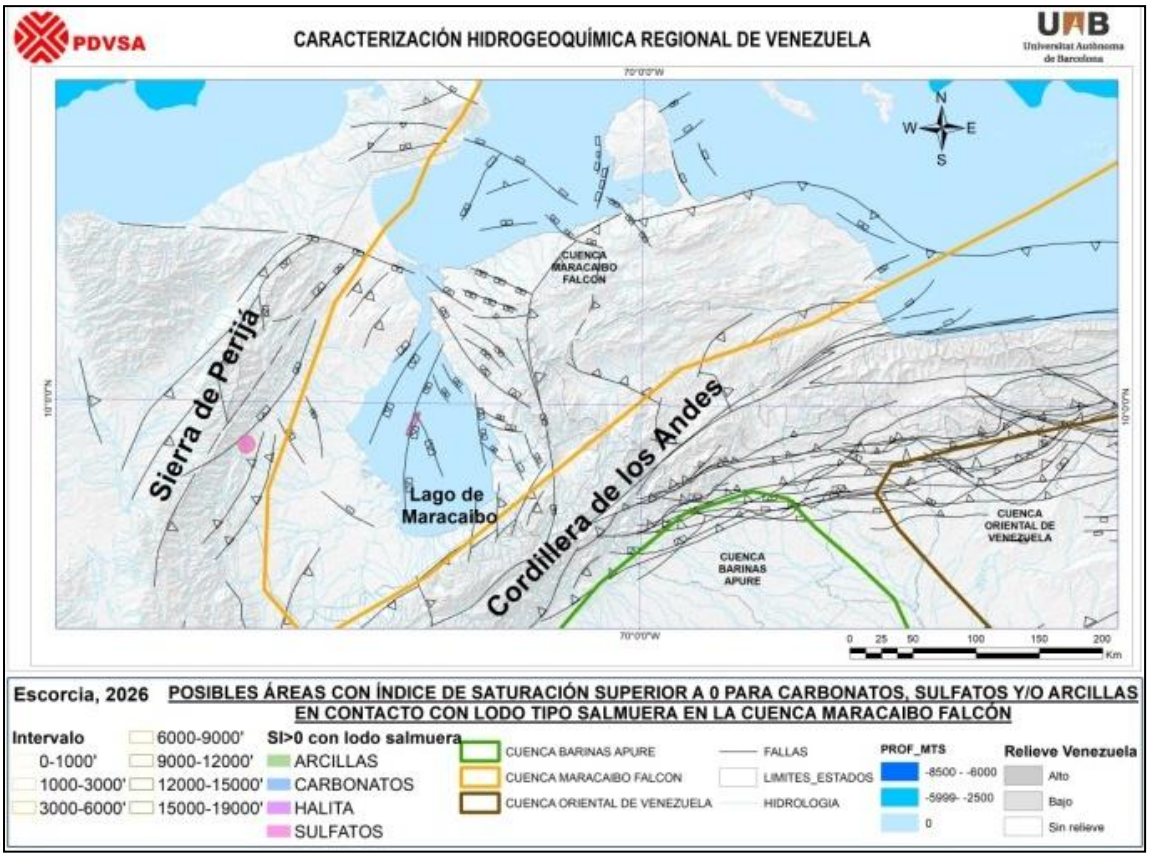
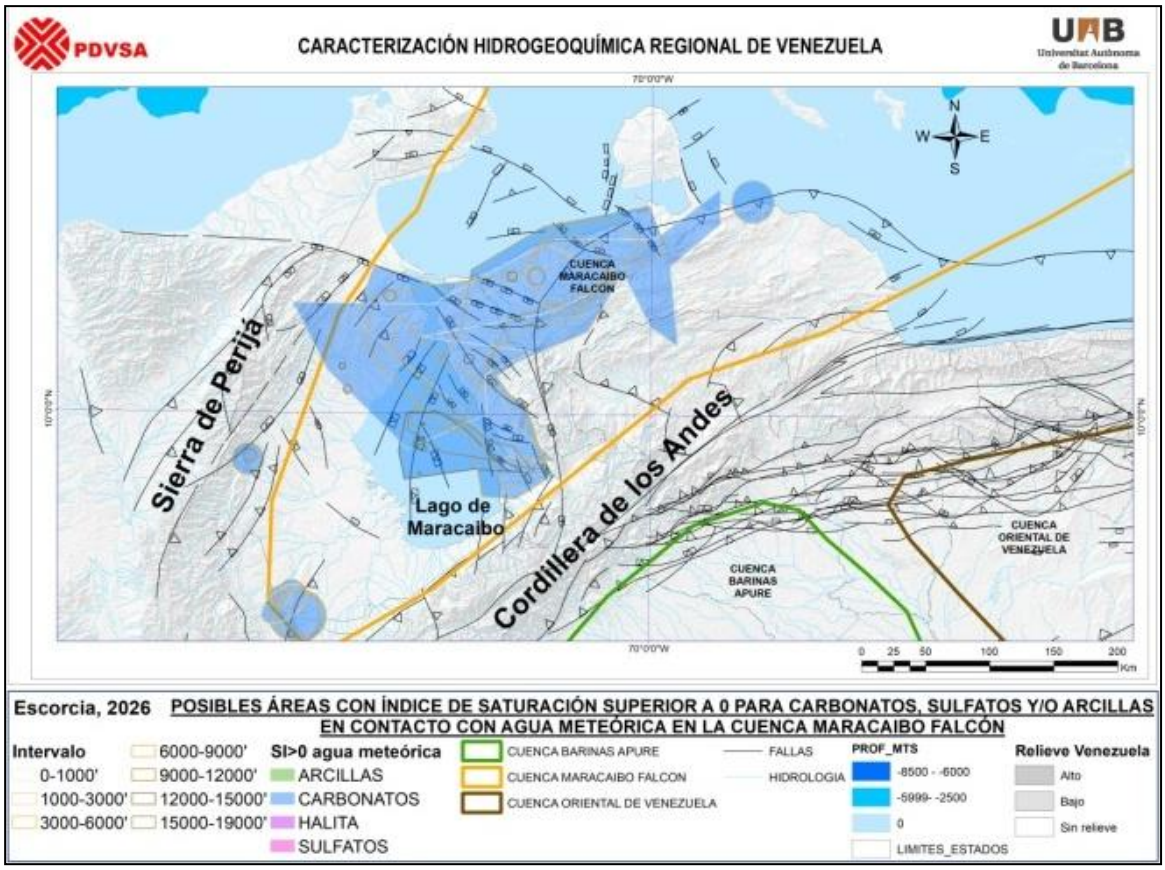
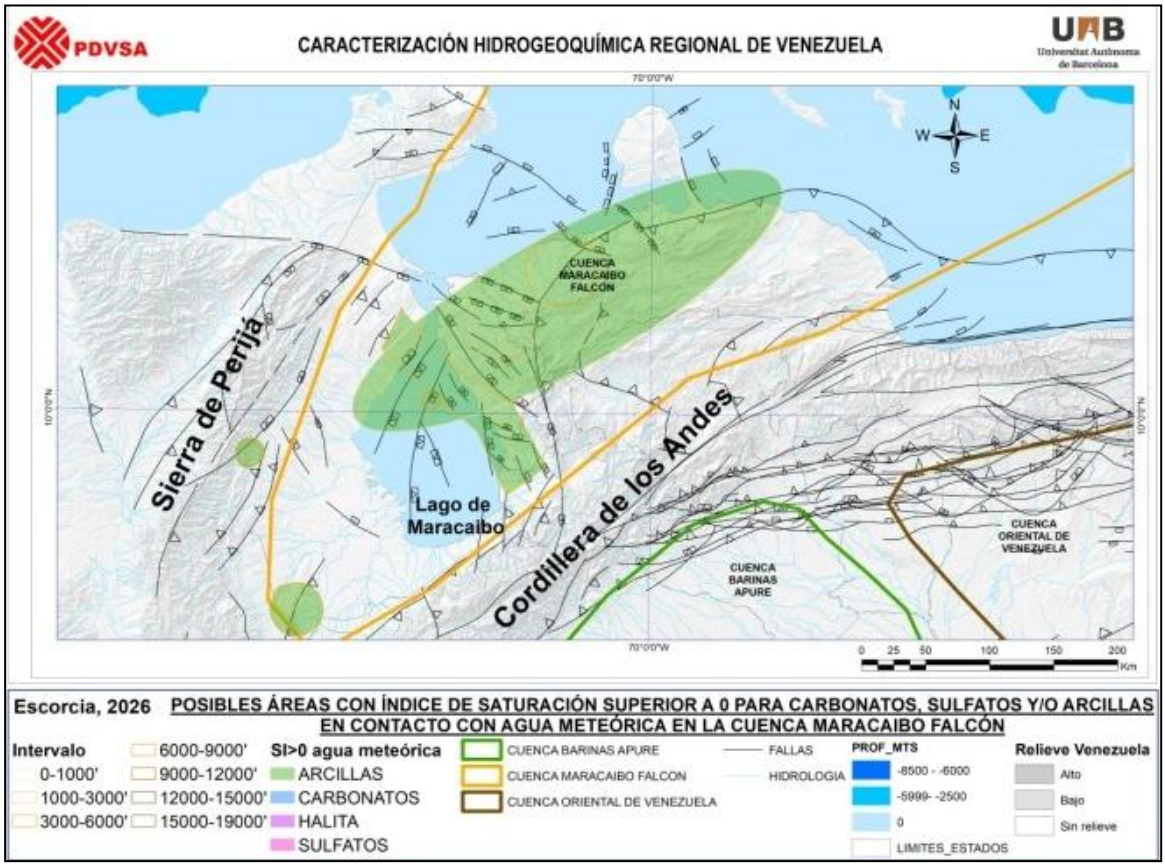
c) 

Figura 215. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación es superior a cero luego de la exposición a lodo tipo salmuera en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) minerales carbonáticos como calcita, dolomita y/o aragonito, b) minerales de arcillas y c) minerales sulfatados.


PDVSA
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL DE VENEZUELA
UAB
Universitat Autònoma de Barcelona
70°0'0"W
N
W
E
S
CUENCA MARACAIBO FALCÓN
Sierra de Perijá
Lago de Maracaibo
Cordillera de los Andes
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
CUENCA BARINAS APURE
10°0'0"N
0 25 50 100 150 200 Km
Escorcia, 2026
POSIBLES ÁREAS CON ÍNDICE DE SATURACIÓN SUPERIOR A 0 PARA CARBONATOS, SULFATOS Y/O ARCILLAS EN CONTACTO CON AGUA METEÓRICA EN LA CUENCA MARACAIBO FALCÓN
Intervalo
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
SI>0 agua meteórica
ARCILLAS
CARBONATOS
HALITA
SULFATOS
CUENCA BARINAS APURE
CUENCA MARACAIBO FALCON
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
FALLAS
HIDROLOGIA
PROF_MTS
-8500 - -6000
-5999- -2500
0
LIMITES_ESTADOS
Relieve Venezuela
Alto
Bajo
Sin relieve

a)


PDVSA
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL DE VENEZUELA
UAB
Universitat Autònoma de Barcelona
70°0'0"W
N
W
E
S
CUENCA MARACAIBO FALCÓN
Sierra de Perijá
Lago de Maracaibo
Cordillera de los Andes
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
CUENCA BARINAS APURE
10°0'0"N
0 25 50 100 150 200 Km
Escorcia, 2026
POSIBLES ÁREAS CON ÍNDICE DE SATURACIÓN SUPERIOR A 0 PARA CARBONATOS, SULFATOS Y/O ARCILLAS EN CONTACTO CON AGUA METEÓRICA EN LA CUENCA MARACAIBO FALCÓN
Intervalo
0-1000'
1000-3000'
3000-6000'
6000-9000'
9000-12000'
12000-15000'
15000-19000'
SI>0 agua meteórica
ARCILLAS
CARBONATOS
HALITA
SULFATOS
CUENCA BARINAS APURE
CUENCA MARACAIBO FALCON
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA
FALLAS
HIDROLOGIA
PROF_MTS
-8500 - -6000
-5999- -2500
0
LIMITES_ESTADOS
Relieve Venezuela
Alto
Bajo
Sin relieve

b)

c)

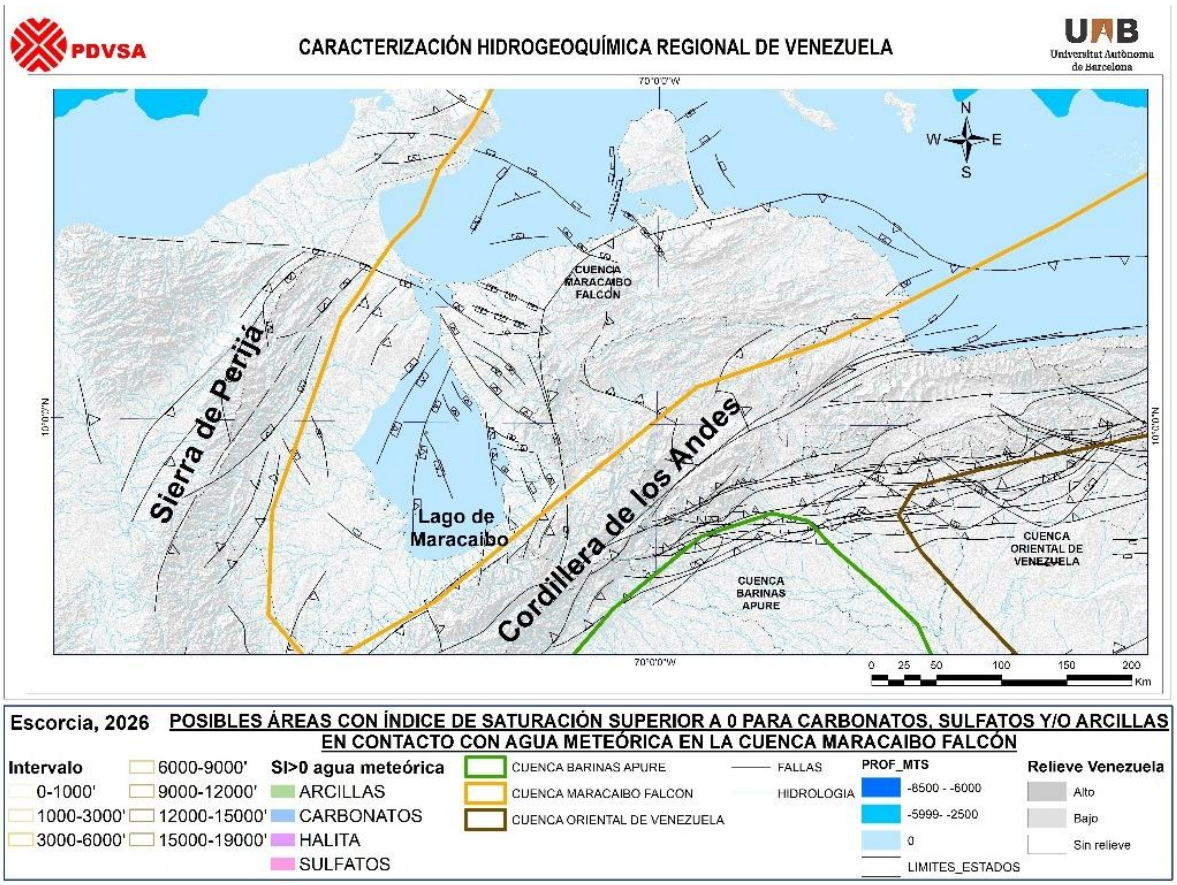
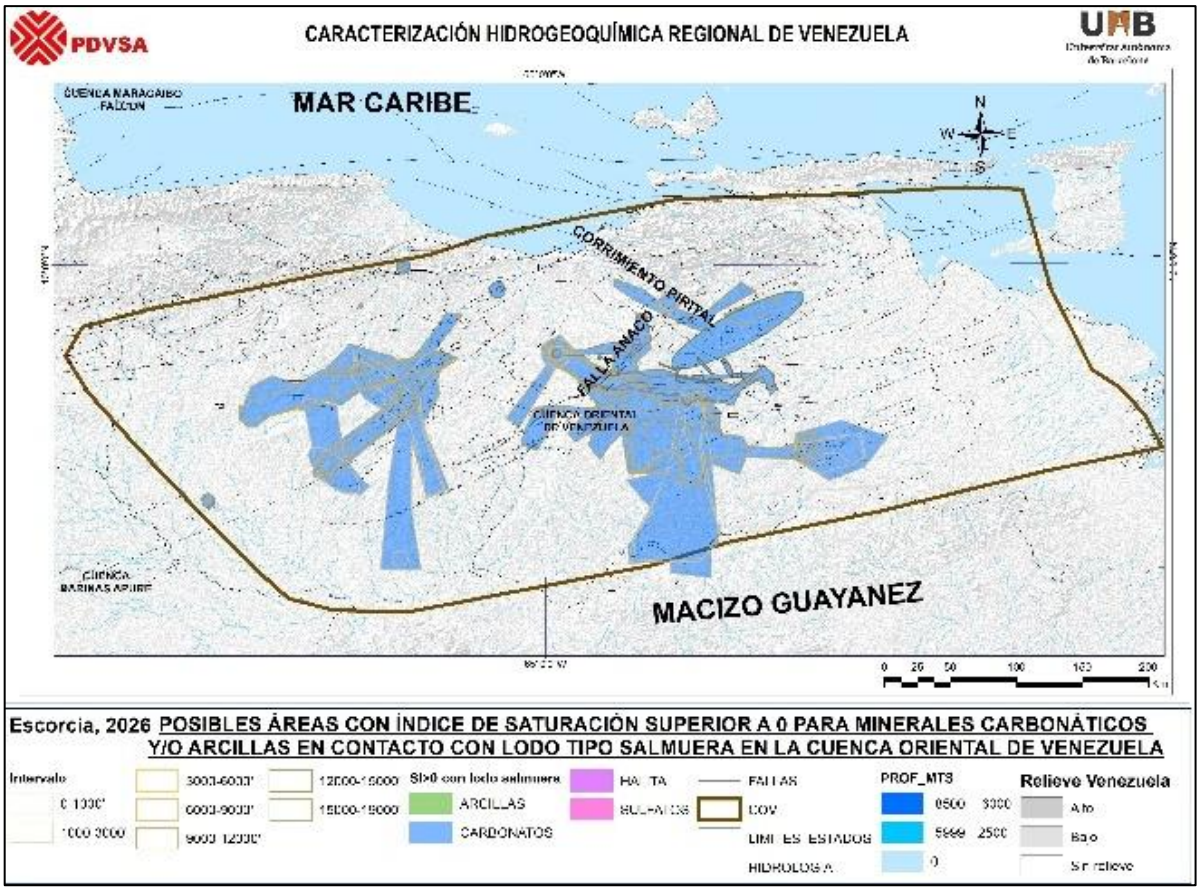


Figura 216. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación es superior a cero luego de la exposición a aguas meteóricas en la Cuenca Maracaibo Falcón. a) minerales carbonáticos como calcita, dolomita y/o aragonito, b) minerales de arcillas c) minerales sulfatados. Relación del riesgo de taponamiento en la producción de pozos petroleros.

Para la Cuenca Oriental, los resultados de las 702 simulaciones realizadas confirman que el riesgo predominante de daño a la formación no radica en la génesis de nuevas fases minerales, sino en la intensificación del desequilibrio de las fases carbonáticas preexistentes. La elevada fuerza iónica de las aguas de la cuenca actúa como un buffer (pH entre 6,3 y 7,1) que impide cambios químicos drásticos durante la invasión de lodo.

En cuanto a la incursión de filtrado de lodo, el mecanismo dominante es el choque químico por carga iónica y pH, que actúa de forma inmediata durante una posible perforación. El posible lodo M-147 desplaza el equilibrio de cloruros, llevando la halita a un IS de -3,14, el valor más cercano al equilibrio de las tres cuencas, lo que incrementa la fuerza iónica y la estabilidad de los carbonatos. (Figura 217).

a)



b)

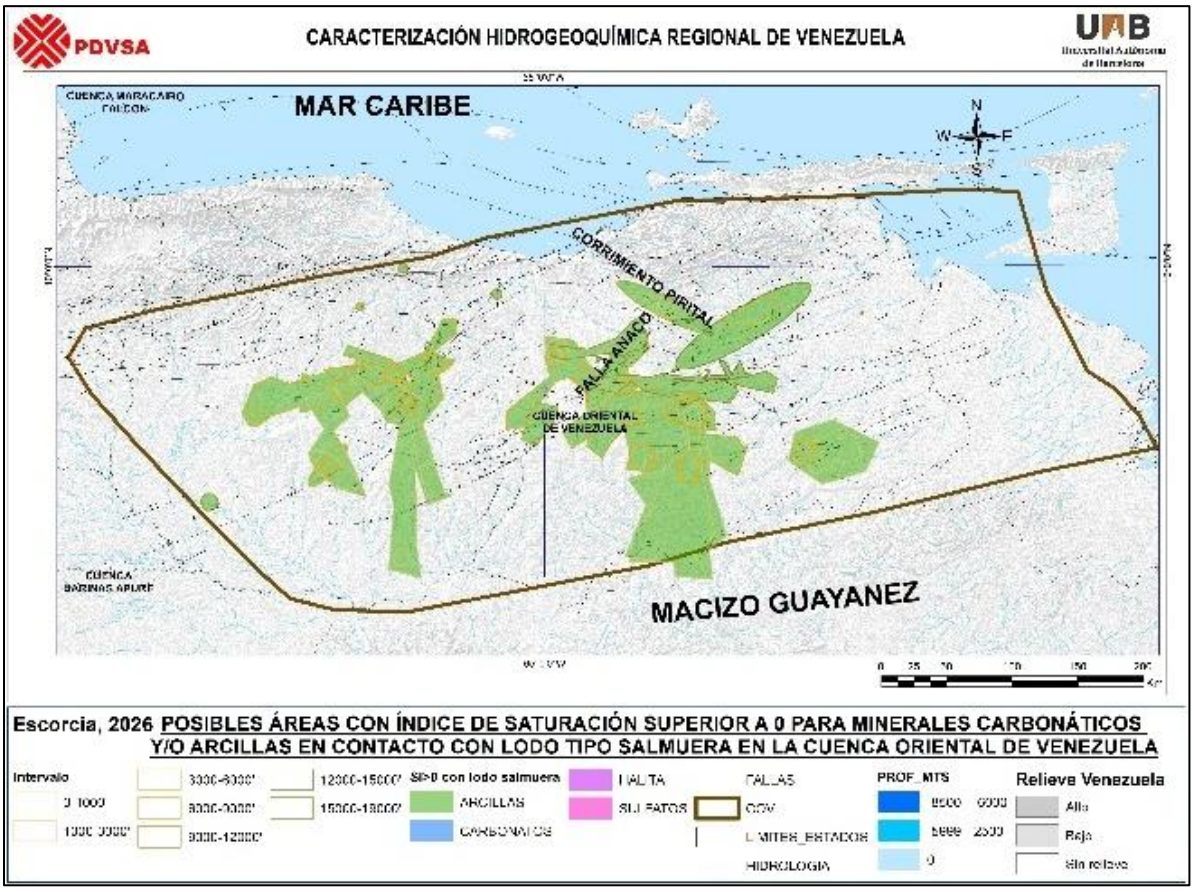
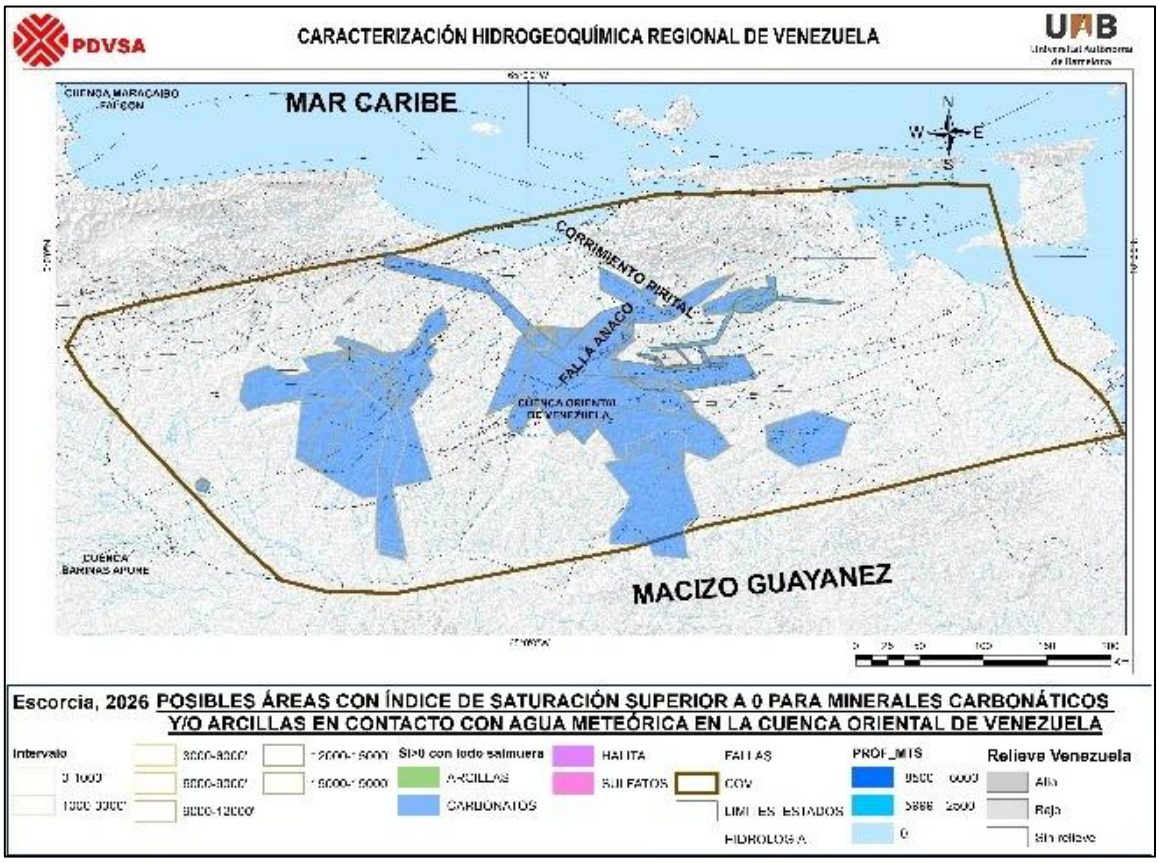


Figura 217. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, o arcillas es superior a cero luego de la exposición a lodo tipo

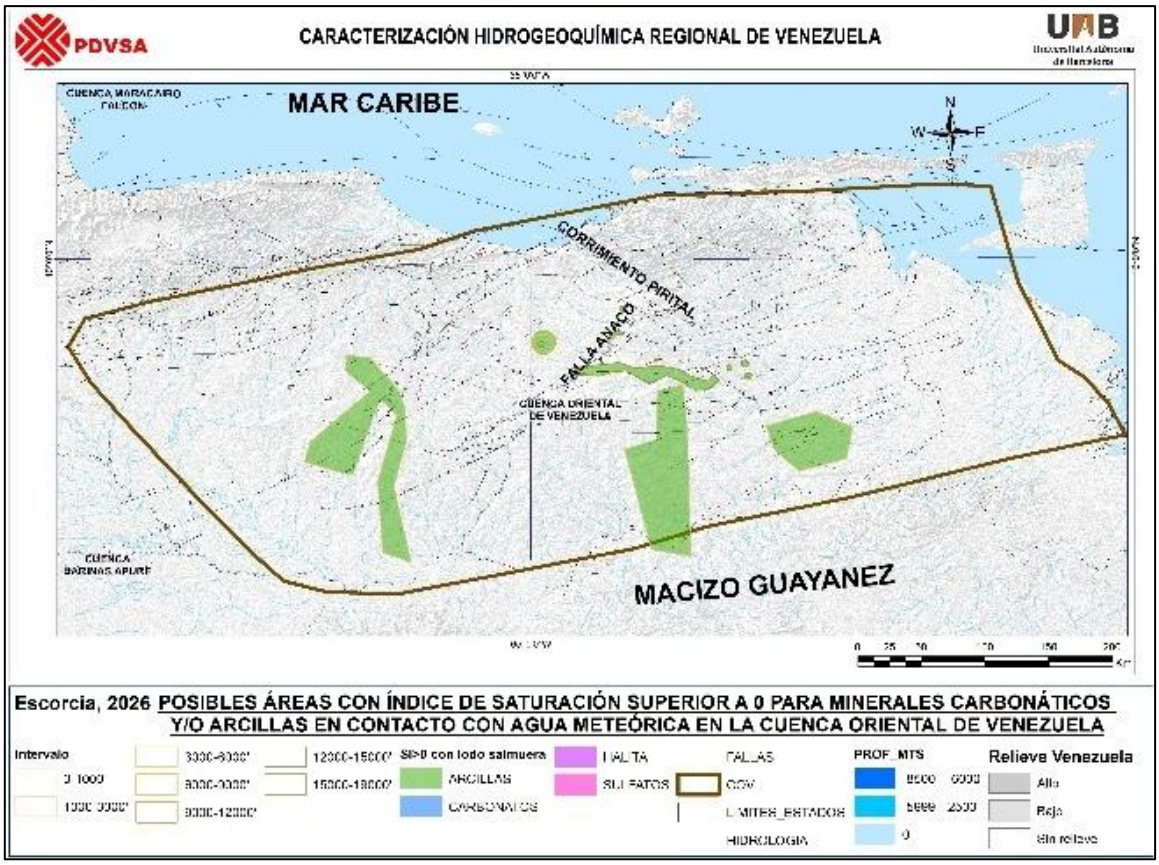
salmuera en la Cuenca Oriental de Venezuela. a) minerales carbonáticos como calcita, dolomita y/o aragonito, b) minerales de arcillas. Relación del riesgo de taponamiento en la producción de pozos petroleros.

No obstante, esta misma condición de alta salinidad mantiene al sistema en un estado de sobresaturación crítica de calcita (IS > 1,5 en promedio), lo que podría promover el sellado de la garganta poral bajo las condiciones térmicas de los reservorios profundos. Existe; sin embargo, un grupo crítico de muestras (ej.: M-700 y M-900) donde la invasión de agua meteórica induce una inversión del estado de saturación. A diferencia de la tendencia regional de precipitación, estas muestras transitan hacia un régimen de disolución activa (IS < 0). Este fenómeno sugiere que, en reservorios con alta salinidad basal y temperaturas elevadas, el frente de agua dulce actúa como un mecanismo de estimulación natural, mitigando la pérdida de permeabilidad mediante la remoción química de cementos carbonáticos autigénicos.

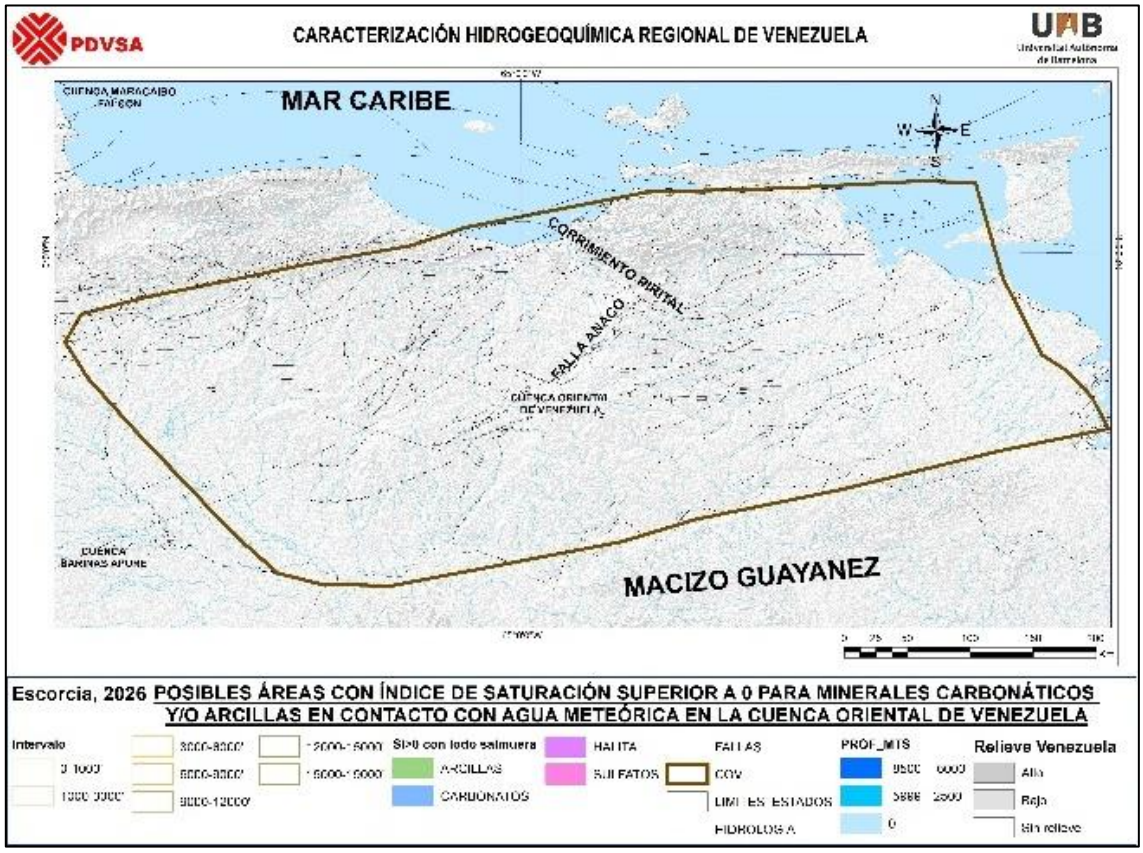
En el escenario de mezcla con agua meteórica, el motor de la alteración mineralógica trasciende el desequilibrio térmico, centrándose en un fuerte contraste de salinidad (Figura 218). En la Cuenca Maracaibo Falcón y la Cuenca Oriental, este proceso revela un comportamiento dual: mientras que en algunos sectores aumenta el riesgo de cementación, en otros provoca una inversión geoquímica, forzando el paso de un estado de precipitación basal a uno de disolución activa (IS < 0).



a)



b)



c)

Figura 218. Posibles áreas de influencia donde el índice de saturación de los minerales calcita, dolomita, aragonito, anhidrita, yeso, o arcillas es superior a cero luego de la exposición a aguas meteóricas en la Cuenca Oriental de Venezuela. a) minerales carbonáticos como calcita, dolomita y/o

aragonito, b) minerales de arcillas y c) minerales sulfatados. Relación del riesgo de taponamiento en la producción de pozos petroleros.

Tabla 44. Resumen de los resultados de las simulaciones considerando procesos de mezcla con aguas meteóricas o lodo de perforación tipo salmuera, a fin de identificar la posible precipitación de minerales accesorios. Las muestras en los paréntesis corresponden a las soluciones base utilizadas como extremos (*end-members*) en la simulación termodinámica en PHREEQC.

Cuenca	Agente Invasor (Muestra Base)	Respuesta Geoquímica de Fases Minerales	Comportamiento del Índice de Saturación (IS)	Riesgo Geológico / Daño a la Formación	Tendencia Espacial o Estructural
Barinas Apure	Lodo Tipo Salmuera (M-873)	• Carbonatos se mantienen estables. • Halita y sulfatos permanecen estables.	• Carbonatos: IS > 0 (previo y post). • Sulfatos: IS < 0 • Halita IS < -7,0.	• Disminución del área de riesgo por carbonatos. • Riesgo generalizado de neoformación de arcillas.	Distribución homogénea en todas las facies
	Agua Meteórica (M-1002)	• Alta capacidad de disolución basal. • No hay cambio de signo en el equilibrio.	• Sulfatos/Halita: IS < 0.	• Incremento del riesgo por precipitación de carbonatos. • Área de neoformación de arcillas se restringe.	Tendencia regional controlada por baja salinidad.
Maracaibo Falcón	Lodo Tipo Salmuera (M-25)	• Elevación crítica de carbonatos. • Inestabilidad de sulfatos y arcillas	• Calcita: Sobresaturación extrema (IS > 2,8, ej. M-111).	• Alto riesgo de oclusión inminente de gargantas porales por calcita. • Elevado riesgo de neoformació de arcillas.	Comportamiento agresivo regional generalizado.
	Agua Meteórica (M-425)	• Inversión geoquímica (precipitación a disolución activa). • Sulfatos se aproximan al equilibrio.	• Carbonatos: IS < 0 (ej. M-732, M-79, M-939). • Sulfatos: IS \ aprox 0.	• Riesgo inminente de precipitación de sulfatos. • Potencial mejora de porosidad por remoción de calcita autigénica. • Neoformación de arcillas restringida.	• Riesgo de sulfatos la Falla de Icotea. • Disolución y salinidades intermedias al suroeste. • Neoformación restringida al norte.
Oriental	Lodo Tipo Salmuera (M-147)	• Sistema amortiguado (efecto buffer de pH: 6,3 – 7,1). • Desplazamiento del equilibrio de cloruros.	• Calcita: Sobresaturación crítica (IS > 1,5 promedio). • Halita: IS = -3,14 (el más cercano al equilibrio).	• Riesgo de sellado de gargantas porales en reservorios profundos. • Mecanismo dominante: Choque químico inmediato por carga iónica y pH	Control geográfico central y flanco sur de la cuenca.
	Agua Meteórica (M-752)	• Comportamiento dual controlado por fuerte contraste de salinidad. • Inversión geoquímica local.	• Carbonatos en muestras críticas: IS < 0 (ej. M-700, M-900).	• Sectores con incremento de cementación secundaria. • Zonas específicas con estimulación natural por remoción de cemento carbonático.	Variaciones locales asociadas a cambios de salinidad basal y alta temperatura.

Capítulo VIII
Facies Hidrogeoquímicas y los procesos de alteración de hidrocarburos

CAPÍTULO VIII. FACIES HIDROGEOQUÍMICAS Y LOS PROCESOS DE ALTERACIÓN DE HIDROCARBUROS

Las mayores reservas de hidrocarburos de Venezuela se alojan en la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías" (Organization of the Petroleum Exporting Countries, 2025). Los crudos asociados a estos yacimientos se caracterizan por una baja gravedad API, consecuencia directa de severos procesos de alteración postentrampamiento, predominantemente el lavado por aguas y la biodegradación (Parra *et al*., 2018). Evaluar la influencia de las facies hidrogeoquímicas sobre la evolución de estos fluidos, resulta indispensable para optimizar las estrategias de producción y recuperación mejorada.

Desde una perspectiva fisicoquímica, el lavado por aguas se refiere a la capacidad del solvente acuoso para disolver y remover compuestos orgánicos no polares de bajo peso molecular. Paralelamente, la biodegradación es impulsada por agentes microbianos (ej. bacterias que se alimentan de hidrocarburos) que utilizan el medio acuoso como vector de transporte y hábitat para degradar fracciones orgánicas (Larter *et al*., 2003). El desarrollo y la intensidad de ambos procesos pueden estar subordinados a las condiciones térmicas del yacimiento.

Adicionalmente, el efecto *salting-out* juega un rol de control primario. Tal como demostró Price (1976) mediante datos experimentales, el incremento en la fuerza iónica (NaCl) del agua reduce exponencialmente la solubilidad de los hidrocarburos ligeros, como el benceno y el tolueno. En consecuencia, las facies hidrogeoquímicas dulces, con sólidos disueltos totales (SDT) inferiores a 1.000 ppm, poseen una elevada capacidad de intercambio, que favorece el lavado físico del crudo, independientemente del régimen térmico. Por el contrario, en aguas con SDT superiores a 1.000 ppm, el potencial de disolución y lavado disminuye drásticamente; en estos casos, si la temperatura es biológicamente permisiva, el agua restringe su función a la de un medio portador, que sustenta la actividad metabólica para la biodegradación.

Para evaluar estos fenómenos, en las tres cuencas estudiadas, se estableció una correlación espacial y termodinámica entre las zonas con evidencia de crudos biodegradados, la distribución de facies dulces y el régimen térmico de las muestras. Las áreas con registros previos de alteración postentrampamiento se compilaron a partir de la literatura especializada (Cordero, *et al*., 2006, Parra, *et al*., 2018, Santiago, *et al*., 2015 y Santiago, *et al*., 2014). Estos datos se integraron con el análisis de salinidad detallado en el Capítulo V, la respuesta eléctrica de las facies dulces detalladas en el Capítulo VI y los gradientes de temperatura descritos en el Capítulo VII (Figura 170, Figura 171 y Figura 172).

La secuencia analítica parte de una revisión de los estados de alteración del crudo, seguida de su vinculación con las facies hidrogeoquímicas locales y la temperatura menor o no de 80 °C. A partir de esta integración, se formuló un modelo predictivo que clasifica las áreas según su riesgo de alteración post-entrampamiento en tres categorías fundamentales:

- Alto riesgo de alteración: Zonas dominadas por facies dulces (SDT < 1.000 ppm) y temperaturas inferiores a 80 °C. Estas condiciones propician de manera óptima y simultánea el lavado físico y una biodegradación activa.

- Riesgo moderado de alteración: Zonas con facies salinas o salobres (SDT > 1.000 ppm) con temperaturas inferiores a 80 °C. En estos dominios, el efecto *salting-out* restringe el lavado por agua, limitando la alteración principalmente a los procesos de biodegradación en el contacto agua-petróleo.

- Bajo riesgo de alteración: Zonas con facies dulces (SDT < 1.000 ppm) pero con temperaturas superiores a 80 °C. Aunque el agua posee la capacidad solvente para efectuar el lavado físico de compuestos ligeros, la barrera de esterilización térmica inhibe el desarrollo de la biodegradación microbiana.

VIII. 1. Cuenca Barinas Apure

El análisis de los procesos de alteración de hidrocarburos realizado en la Cuenca Barinas Apure por Santiago *et al*., (2014) indica que el grado de biodegradación de la cuenca varía de 0 a 5 Peters *et a*., 2005), discriminándolos en crudos no biodegradados, crudos con baja biodegradación (leve levantamiento de la línea base del instrumento UCM) y crudos con alteración moderada.

El área con crudos no biodegradados incluye la Subcuenca de Apure y noreste de la Subcuenca de Barinas, en los cuales las muestras de crudo caracterizadas en Santiago *et al*., (2014) identifican picos resolutivos de n-alcanos de bajo y alto peso molecular y no se observa una elevación de la línea base del cromatógrafo, indicativa de mezcla de compuesto complejos no capaces de ser resueltos por el cromatógrafo (*Unresolved Complex Mixture* UCM). Los crudos con un nivel bajo de biodegradación se encuentran preferencialmente al piedemonte de la Cordillera de los Andes y tienen un leve levantamiento de la línea base, producto de la falta de resolución, y con ausencia de n-alcanos de bajo peso molecular (Figura 219). Finalmente, los crudos con una mayor biodegradación poseen una elevación más pronunciada de la línea base, y poca resolución de los n-alcanos de bajo y alto peso molecular en el fragmentograma de la fracción C_{15+} (Figura 220) fue observado sólo en emanaciones de hidrocarburos que llegan a la superficie conocidas como “mene” en el pie de monte andino.

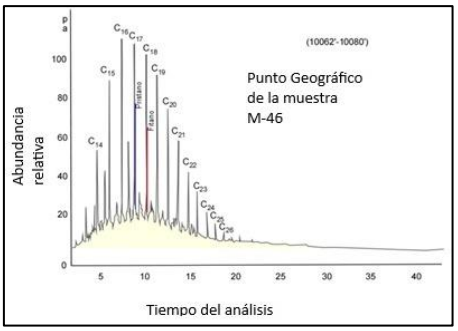


Figura 219. Cromatograma tipo en crudos con bajo nivel de biodegradación en el punto geográfico de la muestra M-46 (Toro, 1998)

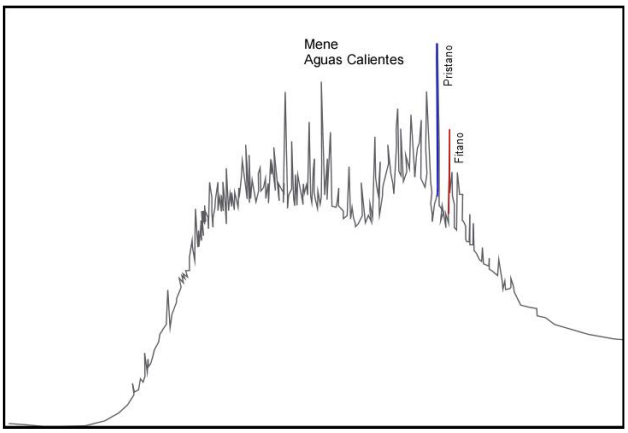


Figura 220. Cromatograma tipo en crudos de mayor biodegradación mene Aguas Calientes (Olivares, 2006)

Zilberberg (1994) encontró una correlación entre la presencia de aguas y la degradación de crudos. En la correlación de facies hidrogeoquímicas, para este estudio se ha encontrado lo siguiente:

- En el área sin rasgos de biodegradación postalteramiento, las facies hidrogeoquímicas cercanas fueron caracterizadas como clorurada sódica, sulfatada sódica y clorurada + sulfata sódica con rangos de SDT (ppm) dulces (Barinas) a salobres. Las temperaturas asociadas varían entre 60 y 130°C (Figura 170). Sólo las facies sulfatadas sódicas salobre y clorurada + sulfatada sódica salobre (6.000 a 9.000 pies o ~2.000 a 3.000 metros), tienen una temperatura inferior a 80°C, que, de acuerdo con el análisis de registros de pozos no generan una alteración de las mediciones de resistividad (Figura 105), pero que pudieran ser una zona sensible a biodegradación. Recordando que en aquellos registros eléctricos de resistividad donde la facies hidrogeoquímica es caracterizada como dulces, se observa un incremento en la lectura.

- En el área con riesgo bajo de biodegradación se ubican las facies cloruradas potásicas diluidas salobre, cloruradas sódicas dulces y sulfatadas sódicas dulces. Las temperaturas asociadas varían entre 100 y 130°C (Figura 170). En específico, la facies hidrogeoquímicas clorurada

potásica diluida salobre, descrita en la muestra M-46 coincide con la ubicación geográfica de una de las muestras de crudo (Figura 219); sin embargo, la temperatura no representa un riesgo de biodegradación, por lo que la alteración de esa muestra debió ser previa al entrampamiento actual.

- Por último, en el área con un nivel de biodegradación elevada no se dispone de muestras con análisis hidrogeoquímico; sin embargo, las facies sulfatadas cálcicas dulces y bicarbonatadas sódicas dulces con temperaturas son superiores a los entre 35 a 70°C serían las más cercanas. Existe por tanto la posibilidad que aguas cercanas a las muestras con estas características pudieran generar un "lavado" de las fases móviles de menor peso molecular de los hidrocarburos.

Desde un punto de vista predictivo, una de las características de la Cuenca Barinas Apure es la baja salinidad de las muestras de agua, desde dulces a salinas. En particular cuatro facies de las descritas son aguas dulces: cloruradas sódicas (9.000 a 12.000 pies o ~3.000 a 4.000 metros), sulfatada sódica (6.000 a 9.000 pies o ~2.000 a 3.000 metros), sulfatada cálcica (superficie) y bicarbonatada sódica (superficie). Sin embargo, la temperatura es inferior a los 80°C para la facies bicarbonatada sódica (superficie) ubicada al noreste de la Cuenca Barinas Apure, que sería un área de alto riesgo para biodegradación y lavado por aguas. Y las facies que se ubican en temperaturas inferiores a 80°C, son sulfatada sódica y clorurada + sulfatada sódica salobres, ubicadas en la Subcuenca de Apure, que podrían ser una zona sensible a biodegradación (Figura 221).

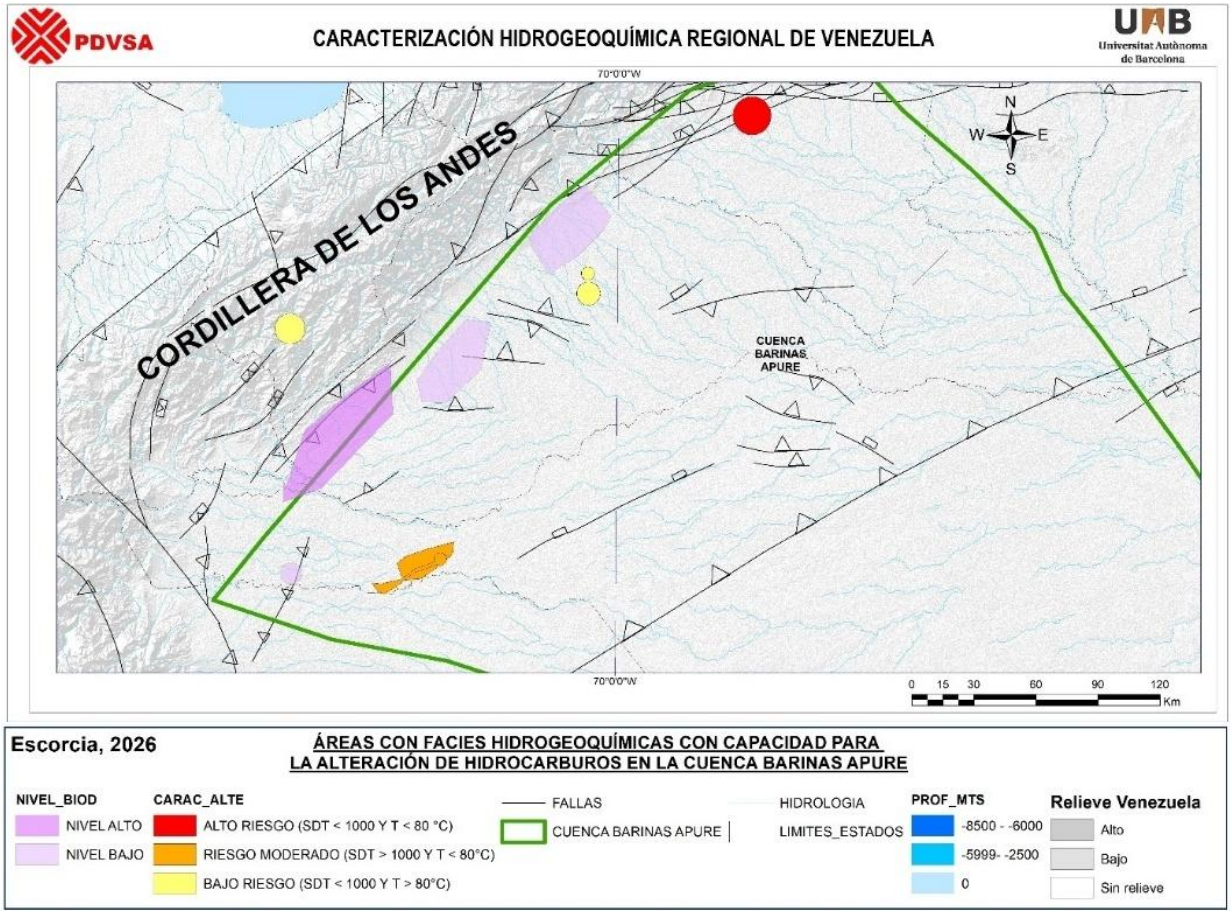


Figura 221. Posibles polígonos de riesgo para biodegradación y/o lavado por aguas en la Cuenca Barinas Apure de acuerdo con la distribución de las muestras de agua con capacidad para alterar los hidrocarburos.

VIII. 2. Cuenca de Maracaibo Falcón

El análisis de los procesos de alteración de hidrocarburos realizado en la sección noreste de la Cuenca de Maracaibo por Markovich *et al*., (2015) indica que el grado de biodegradación de la cuenca varía de 0 a 5 Peters *et al*., (2005), discriminándolos en base a la profundidad. Los crudos más profundos tienen un nivel de biodegradación superior a los crudos de niveles superiores. Adicionalmente, existen biomarcadores en los crudos que indican un proceso de biodegradación previo y un proceso de recarga reciente, lo cual indica que el proceso de alteración ocurrió fuera del sistema de entrampamiento actual. En la Cuenca de Falcón existe una gran cantidad de sedimentos expuestos, considerando la actividad tectónica de inversión en el área, luego del Eoceno Baquero *et al*., 2010). No obstante, los estudios regionales del área no caracterizaron hidrocarburos con grados de alteración postentrampamiento referidos a lavado por agua y/o biodegradación.

En la Cuenca Maracaibo Falcón las muestras de agua dulce con una temperatura inferior a 80°C van desde 0 a 6.000 pies (Figura 222): Facies bicarbonatada cálcica, bicarbonatada magnésica, bicarbonatada sódica (en las subfacies connata muy diluida, meteórica, meteórica con intercambio

iónico), clorurada magnésica, clorurada sódica (en las subfacies dulce con bajo SDT, mezcla con agua de mar) y sulfatada sódica. De acuerdo con el análisis de registros de pozos existe una alteración de las mediciones de resistividad en la presencia de estas facies (Figura 116, Figura 120 y Figura 122). La ubicación de las muestras abarca el oeste del lago de Maracaibo, suroeste de la Cuenca de Maracaibo y Cuenca de Falcón, todas ellas por tanto zonas de riesgo para el lavado por agua (Figura 222).

Las muestras con una temperatura inferior a 80°C abarcan una cantidad de sólidos disueltos de salobres a salmueras y representarían un área de posible riesgo para biodegradación y menor riesgo para el lavado por aguas (Figura 222):

- Las facies salobres distribuidas desde superficie hasta 6.000 pies (~0 a 2.000 metros) serían: facies bicarbonatada cálcica, bicarbonatada sódica (en las subfacies connata muy diluida, dulce con alta SDT y mezcla), clorurada cálcica, clorurada sódica (en las subfacies connata diluida y dulce con alta SDT) y sulfatada magnésica. De acuerdo con el análisis de registros de pozos no existe una alteración de las mediciones de resistividad en la presencia de estas facies (Figura 112, Figura 114, Figura 124 y Figura 126), no necesariamente relacionado con la ausencia de bacterias que pueden degradar el crudo. La ubicación de las muestras no se encuentra restringida dentro de la cuenca.

- Las facies salinas distribuidas desde superficie hasta 9.000 pies (~0 a 3.000 metros) serían: facies clorurada sódica, en las subfacies connata, connata diluida y dulce con alta SDT. De acuerdo con el análisis de registros de pozos no existe una alteración de las mediciones de resistividad en la presencia de estas facies (Figura 110 y Figura 114) no necesariamente relacionado con la ausencia de bacterias que pueden degradar el crudo. La ubicación de estas muestras es preferencial hacia el norte de la cuenca.

- Las facies salmueras distribuidas desde superficie hasta 9.000 pies (~0 a 3.000 metros) serían: facies clorurada cálcica y clorurada sódica (en las subfacies connata y dulce con alta SDT). De acuerdo con el análisis de registros de pozos no existe una alteración de las mediciones de resistividad en la presencia de estas facies (Figura 110 y Figura 132), no necesariamente relacionado con la ausencia de bacterias que pueden degradar el crudo. La ubicación de estas muestras es preferencial hacia el norte de la cuenca.

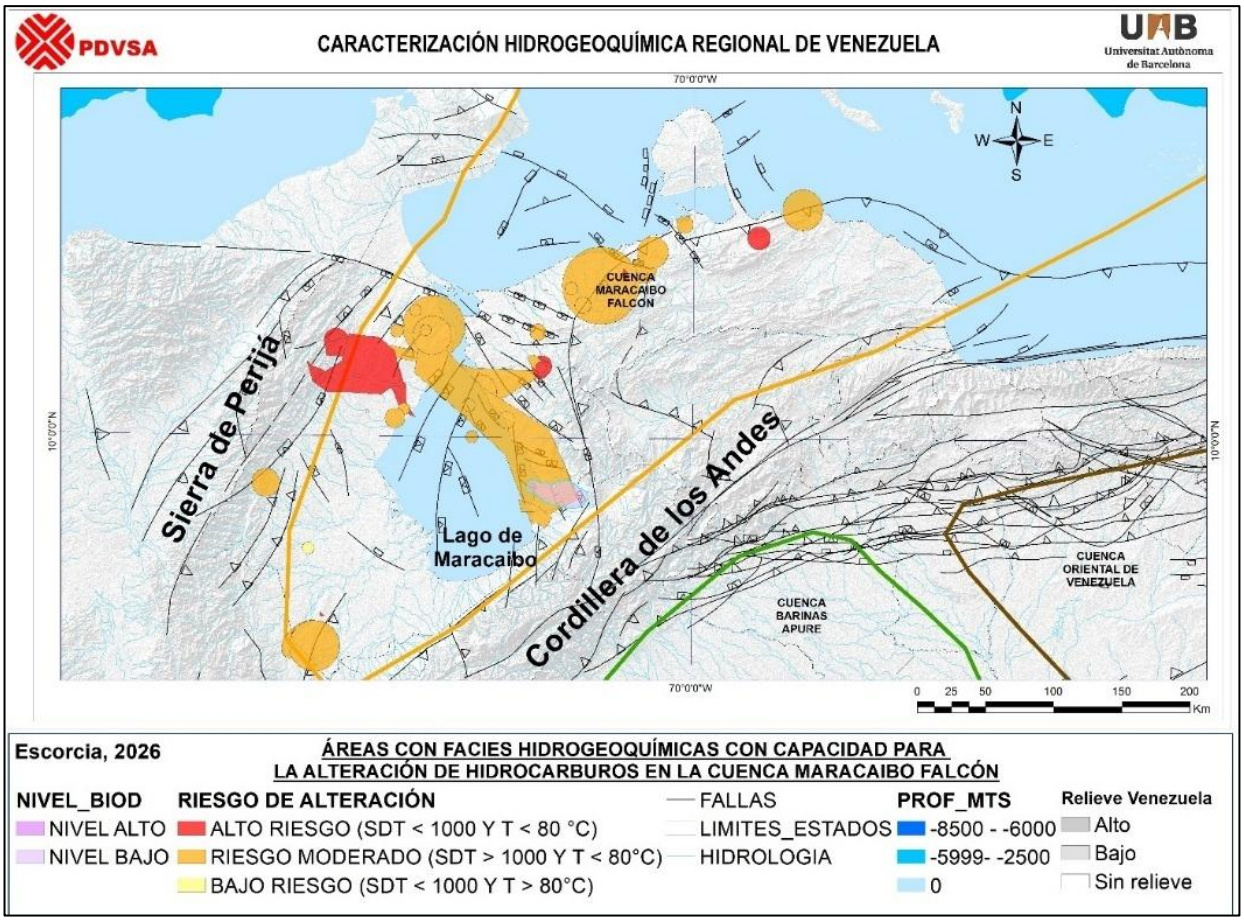


Figura 222. Posibles polígonos de riesgo para biodegradación y/o lavado por aguas en la Cuenca Maracaibo Falcón de acuerdo con la distribución de las muestras de agua con capacidad para alterar los hidrocarburos.

VIII. 3. Cuenca Oriental

La alteración postentrampamiento por biodegradación en la subcuenca de Guárico, fue realizada en Parra *et al*., (2018). La agrupación fue realizada de acuerdo con la escala PM de Peters *et al*., (2005) generó 5 grupos que oscilan de 0 a 6.

- Las muestras con una escala de PM entre 0 y 1 son considerados como fluidos no biodegradados, no presentan ninguna alteración considerable, ni la presencia de compuestos característicos de procesos de biodegradación.

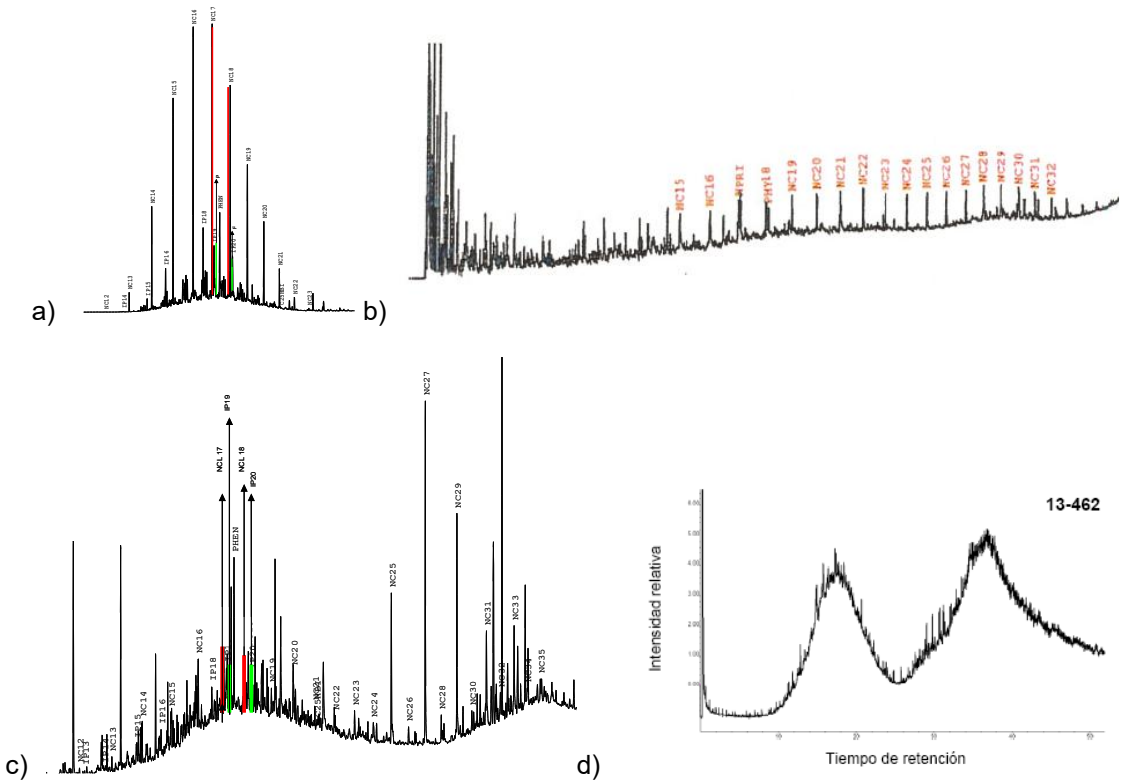
- Las muestras con una escala de PM entre 1 y 2 poseen una alteración parcial de sus fragmentogramas con relación m/z=99, donde la intensidad de la señal de los alcanos y de los isoprenoides ha disminuido. Esta alteración podría deberse sólo a un proceso de lavado por agua, debido a la presencia de aguas meteóricas y/o de intercambio iónico que remueven los

compuestos livianos más polares del crudo disminuyendo por tanto la fracción de saturados en la muestra.

- Las muestras con una escala de PM entre 1 y 4 poseen una alteración parcial de sus fragmentogramas con relación m/z=99 (Figura 223), donde la intensidad de la señal de se encuentra baja y presentan una alteración de la línea base denominado UCM (mezcla de compuestos no resuelta, por sus siglas en inglés).

- Las muestras con una escala de PM entre 4 y 5 poseen una alteración parcial de sus fragmentogramas con relación m/z=99 (Figura 223), donde la intensidad de la señal de los alcanos se encuentra removida pero aún pueden observarse algunos isoprenoides y presentan una alteración de la línea base denominado UCM.

- Las muestras con una escala de PM entre 5 y 6 muestran una alteración completa de la señales de lo alcanos y los isoprenoides, indicativo que el proceso de alteración ha sido más fuerte (Figura 223). Adicionalmente fracciones más pesadas se encuentran alteradas. Al realizar la interpretación de las relaciones y gráficos, las muestras presentan valores superiores al promedio en los crudos y bitúmenes del %S, V y Ni, con una clasificación según la distribución SARA de crudos pesados y asfaltos muy probablemente alterados, una clasificación según la gravedad API como pesados y extrapesados.



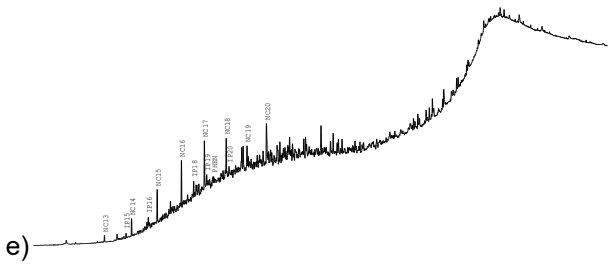


Figura 223. Análisis cromatográficos de muestras de crudo en la Cuenca Oriental con escalas diferentes de biodegradación a) Escala de biodegradación 0-1, fragmentograma m/z=99 de una muestra de crudo en la Cuenca Oriental de Venezuela donde se muestran las señales de los alcanos (NC), pristano (P), fitano (F) e isoprenoides (IP) (Talukdar, 2007) característico de fluidos no biodegradados b) Escala de biodegradación 1-2, cromatograma de crudo total en la Cuenca Oriental de Venezuela (Stoufer *et al*., 1996) característicos de fluidos con biodegradación c) Escala de biodegradación 1 a 4, fragmentograma m/z=99 donde se muestran las señales de los alcanos (NC), pristano (P), fitano (F) e isoprenoides (IP) (tomado de Talukdar, 2007) d) Escala de biodegradación 4-5, cromatograma C_{15}^{+} de una muestra de mene en la Cuenca Oriental (INTEVEP, 2014) e) Escala de biodegradación 5-6, fragmentograma de m/z=99 característico de fluidos con alta biodegradación (tomado de Talukdar, 2007).

Todas las muestras que se encuentran en la parte más norte de cuenca presentan las temperaturas más altas (mayores a 171°C) condiciones que no favorecen al desarrollo del proceso de biodegradación por lo que presentan valores que van de 0 a 1; mientras que todas las muestras que se encuentran al sur de la cuenca presentan temperaturas de 50-73°C ideales para que se lleve a cabo el proceso de biodegradación por lo que tienen escalas que van de 1 a 4 y de 5 a 6 (Figura 223).

En la Cuenca Oriental las muestras de agua dulce con una temperatura medida y/o estimada inferior a 80°C van desde 0 a 6.000 pies (~0 a 2.000 metros, Figura 224): Facies bicarbonatada cálcica, bicarbonatada sódica (en las subfacies meteórica, meteórica con posible intercambio con el medio y mezcla) y clorurada sódica en la subfacies connatas muy diluidas con SDT bajo. De acuerdo con el análisis de registros de pozos existe una posible alteración de las mediciones de resistividad en la presencia de estas facies (Figura 152). La ubicación de las muestras abarca el oeste y sur de la Cuenca Oriental y en algunas muestras superficiales al norte. (Figura 224).

Las muestras con una temperatura medida y/o estimada inferior a 80°C abarcan una cantidad de sólidos disueltos de salobres a salmueras y representarían un área de posible riesgo para el lavado por agua (Figura 224):

- Las facies salobres distribuidas desde superficie hasta 12.000 pies (~ 0 a 4.000 metros) serían: Facies bicarbonatada magnésica, bicarbonatada sódica (en las subfacies mezcla con SDT de medio a alta, dulce con SDT de medio a alto y mezcla), clorurada cálcica, clorurada sódica (en las subfacies connata, connata evolucionadas, connata diluida, connata muy diluida, de

intercambio iónico y mezcla). De acuerdo con el análisis de registros de pozos en algunos casos existe una alteración de las mediciones de resistividad en la presencia de estas facies (Figura 157 y Figura 165). La ubicación de las muestras no se encuentra restringida dentro de la cuenca.

- Las facies salinas distribuidas desde superficie hasta 9.000 pies (~0 a 3.000 metros) serían: Facies bicarbonatada sódica en la subfacies dulce con SDT de medio a alto y clorurada sódica (en la subfacies connata, connata evolucionada, connata diluida, connata muy diluida, de intercambio iónico y mezcla). De acuerdo con el análisis de registros de pozos en algunos casos existe una alteración de las mediciones de resistividad en la presencia de estas facies (Figura 144 y Figura 150) no necesariamente relacionado con la ausencia de bacterias metanogénicas. La ubicación de estas muestras no se encuentra restringida dentro de la cuenca.

- Las facies salmueras distribuidas entre 1000 y 9.000 pies (~300 a 3.000 metros) serían: Facies clorurada sódica en las subfacies connata, connata evolucionada, connata diluida, de intercambio iónico y mezcla). De acuerdo con el análisis de registros de pozos no existe una alteración de las mediciones de resistividad en la presencia de estas facies (Figura 140), no necesariamente relacionado con la ausencia de bacterias que pueden degradar el crudo. La ubicación de estas muestras es preferencial hacia el sur y oeste de la cuenca.

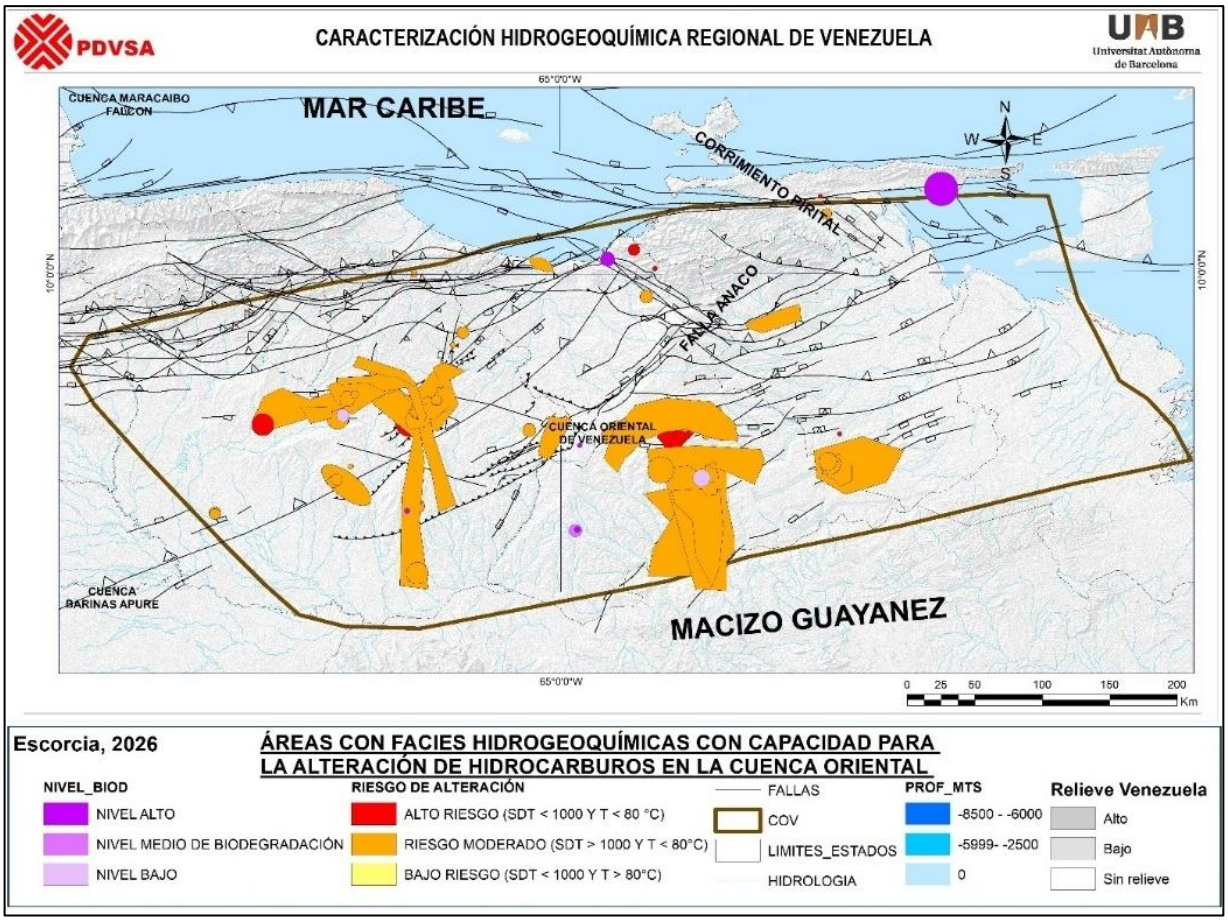


Figura 224. Posibles polígonos de riesgo para biodegradación y/o lavado por aguas en la Cuenca Oriental de acuerdo con la distribución de las muestras de agua con capacidad para alterar los hidrocarburos.

Capítulo IX
Conclusiones

CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES

1- Se encontraron 1000 muestras de aguas geolocalizadas y analizadas geoquímicamente en las tres mayores cuencas petrolíferas de Venezuela. De estas muestras, 818 cumplen el balance iónico inferior a 10%: 42 en la Cuenca Barinas Apure, 249 en la Cuenca Maracaibo Falcón y 527 en la Cuenca Oriental de Venezuela.

2- El estudio determinó la presencia de tres facies hidrogeoquímicas fundamentales en las cuencas venezolanas: aguas connatas, aguas de mezcla y aguas meteóricas. Existen pocas restricciones en cuanto a profundidad o temperatura ligada a la facies y son diferentes en cada cuenca. En general, las aguas meteóricas son más probables en intervalos someros con temperaturas inferiores a los 50°C y las aguas connatas suelen hallarse en intervalos por encima de los 9.000 pies (~3.000 metros) pero a diferentes temperaturas. Las aguas de mezcla se encuentran en toda la columna y a todas las temperaturas.

3- La relación entre la ubicación de los elementos estructurales identificados en superficie, y las facies hidrogeoquímicas indican que estas estructuras, cumplen una función crítica: en algunos casos son vías preferenciales para la migración de los fluidos en el subsuelo; en otros actúan como barreras naturales. En concreto, la Falla de Icotea en la Cuenca de Maracaibo actúa mayormente como una vía de migración mientras que la Falla de Anaco en la Cuenca Oriental se comporta mayormente como una barrera lateral de fluidos. Es visible también el contraste en la facies hidrogeoquímica a ambos lados de fallas de gran extensión geográfica.

4- En las muestras de agua de la Cuenca Barinas Apure la caracterización hidrogeoquímica resalta la predominancia de las facies sulfatadas (específicamente en el rango de 6.000 a 9.000 pies o ~2.000 a 3.000 metros). Además, se observa un proceso de mezcla progresiva entre las aguas de formación (cloruradas sódicas) y dulces (bicarbonatadas sódicas), por lo cual existen aguas cloruradas-bicarbonatadas sódicas.

5- En la Cuenca Barinas Apure existe un dominio absoluto de facies sulfatadas y bicarbonatadas cálcico-magnésicas, con sólidos disueltos totales mayoritariamente inferiores a 1.000 mg/L. Esta firma hidrogeoquímica es una posible evidencia de una intensa dinámica de recarga meteórica activa proveniente de los Andes venezolanos, la cual desplaza de manera eficiente a las salmueras connatas de los reservorios someros.

6- En las muestras de agua de la Cuenca Maracaibo Falcón existe una característica distintiva en la caracterización hidrogeoquímica que es la influencia de mezcla con agua de mar. En la vertical las aguas entre 0 y 1.000 pies (~0 a 300 metros) presentan todas las facies

hidrogeoquímicas mientras que a profundidades entre 1.000 y 19.000 pies (~300 a 6.500 metros) son más probables las facies cloruradas sódicas y bicarbonatadas sódicas.

7- En la Cuenca Maracaibo Falcón se determinó la coexistencia de aguas connatas cloruradas sódicas de alta salinidad y frentes de invasión meteórica dulce distribuidos de forma heterogénea en la cuenca. El análisis espacial reveló una drástica compartimentalización geoquímica controlada por el lineamiento tectónico de la Falla de Icotea, la cual actúa como una barrera hidrodinámica de primer orden.

8- En las muestras de agua de la Cuenca Oriental la caracterización hidrogeoquímica destaca su alta variabilidad composicional según su ubicación geoespacial; específicamente, en la Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías" coexisten simultáneamente las tres facies identificadas (connatas, mezcla y meteóricas). Sin embargo, son significativamente más probables las facies de aguas cloruradas sódicas salinas y salobres. La distribución de estas facies se encuentra fuertemente afectada y delimitada por discontinuidades estructurales mayores como la Falla de Anaco, aislando los reservorios profundos.

9- La caracterización hidrogeoquímica demostró la coexistencia tridimensional de aguas meteóricas y connatas dentro de las secuencias sedimentarias evaluadas, confirmando una mayor penetración de facies hidrodinámica dulces en los flancos adyacentes a los Andes y la Serranía del Interior Oriental. El análisis de las 818 muestras validó que la infiltración de agua dulce es un proceso regional activo capaz de desplazar total o parcialmente a las salmueras connatas ancestrales.

10- A través de un total de al menos 70 simulaciones termodinámicas realizadas con el programa PHREEQC se indica la coexistencia de facies hidrogeoquímicas, determinadas por posibles interacciones con rocas circundantes en contextos geológicos complejos (arcillas, carbonatos y sulfatos) o por la mezcla entre aguas de distintas composiciones.

11- Otras simulaciones termodinámicas revelaron que las mezclas de fluidos inducen variaciones críticas en los índices de saturación mineral, elevando el riesgo inminente de cementación secundaria por carbonatos. Este choque químico e hidrogeoquímico desestabilizaría el equilibrio basal del reservorio, generando la precipitación autigénica de calcita profunda y la consecuente oclusión de gargantas porales, lo que podría comprometer la productividad de un pozo.

12- En la Cuenca Barinas Apure, las simulaciones termodinámicas de mezcla fluido-fluido demostraron que el sistema hidrogeoquímico posee una alta capacidad de disolución basal debido a su baja salinidad protectora. Los modelos predictivos descartaron el riesgo de daño a

la formación por precipitación de sales, aunque evidenciaron un peligro potencial y generalizado de oclusión por neoformación de arcillas.

13- En la Cuenca Maracaibo Falcón el modelado predictivo reveló un comportamiento termodinámico dual donde la incursión de lodo tipo salmuera elevaría los índices de saturación de calcita a niveles críticos (IS > 2,8). En contraste, la invasión meteórica induciría una inversión geoquímica hacia la disolución activa, disminuyendo el riesgo de cementación secundaria al suroeste de la cuenca.

14- En la Cuenca Oriental las simulaciones con PHREEQC confirmaron que la elevada fuerza iónica de las aguas de la cuenca actuaría como un amortiguador térmico y químico que estabilizaría las fases carbonáticas preexistentes. El mecanismo de alteración dominante sería el choque químico inmediato por carga iónica y pH, manteniendo un estado de sobresaturación crítica de calcita.

15- La correlación de la presencia de aguas dulces con temperaturas menores a 80°C y la presencia de crudos biodegradados no es concluyente, pero si evidente en los registros de pozo. La respuesta del registro eléctrico en la caracterización de los reservorios se ve afectada por el tipo de facies hidrogeoquímica dominante cuando el total de sólidos disueltos (SDT) es inferior a 1000 mg/L, lo cual es un factor determinante para una evaluación precisa mediante registros de pozos.

16- Se constató que la incursión de facies hidrogeoquímicas de origen meteórico pudo alterar la distribución original de los hidrocarburos, mediante procesos generalizados de lavado por agua y biodegradación microbiana. La supresión del efecto salting-out en estas facies dulces potenció la solubilidad de las fracciones orgánicas livianas, restringiendo este fenómeno de degradación a reservorios someros con temperaturas inferiores al umbral biológico de 80 °C.

17- Finalmente, el análisis de la información geoquímica de las aguas de las cuencas petrolíferas de Venezuela permite comprender el papel de las estructuras geológicas y prever el comportamiento de precipitación/disolución mineral durante la recuperación de hidrocarburos. Esto puede constituir una metodología de trabajo útil para las empresas, no solo de explotación de hidrocarburos sino también para el almacenamiento de CO_2 o para los estudios de geotermia.

CAPÍTULO X. RECOMENDACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

1- Se recomienda implementar a nivel operacional en PDVSA un protocolo estandarizado y riguroso para la toma de muestras de agua en cabezal de pozo y pruebas de producción (DST). Es imperativo asegurar, la medición *in situ* de parámetros lábiles como el pH, la temperatura, la conductividad eléctrica y el potencial redox (pE), evitando la salida de CO_2 que altera severamente el equilibrio del sistema de carbonatos, previo al análisis de laboratorio.

2- Es conveniente incluir una mayor densidad de datos en las áreas de la Faja petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías" que permita discernir por yacimiento el comportamiento hidrogeoquímico del área; tomando en cuenta la alta variabilidad de facies hidrogeoquímicas en áreas pequeñas tanto lateral como verticalmente.

3- Es necesario integrar la base de datos hidrogeoquímica validada en este estudio dentro de los simuladores composicionales de yacimientos. Ya que conocer la fuerza iónica basal y la distribución de facies químicas permitirá predecir de forma cuantitativa el comportamiento del agua de formación durante procesos de inyección de agua dulce o alterna para recuperación mejorada (EOR), minimizando la incertidumbre operativa.

4- Debido a los rasgos hidrogeoquímicos únicos de cada cuenca, el diseño de futuras estrategias de exploración y desarrollo de hidrocarburos en Venezuela debe considerar de forma particularizada estas variaciones, para optimizar los resultados en cada sistema petrolero.

5- Los analistas de datos geológicos requieren de un conocimiento práctico básico para la detección de cambios en la dinámica de los yacimientos, a partir de cambios en las facies hidrogeoquímicas.

6- Se considera conveniente utilizar de manera sistemática las matrices predictivas de índice de saturación (IS) generadas en esta investigación para el diseño de lodos de perforación base agua. En áreas de alto riesgo químico, como la Cuenca Maracaibo Falcón o zonas profundas de la Cuenca Oriental, se deben calibrar aditivos que mitiguen el choque iónico, impidiendo tanto el taponamiento por cementación secundaria de calcita, como la neoformación de arcillas.

7- En un futuro se podría expandir las simulaciones termodinámicas de equilibrio actual hacia modelos cinéticos de transferencia de masa en 3D. Esto permitirá determinar con exactitud las tasas de precipitación y disolución mineral autigénica a lo largo del tiempo, evaluando cómo

evoluciona la permeabilidad relativa del reservorio durante la vida productiva del campo bajo diferentes escenarios de explotación.

8- Se requiere de datos más rigurosos, precisos y exactos de isótopos estables. Por un lado, se hace necesario el muestreo y análisis en aguas de la Cuenca Barinas Apure y por otra parte muchos de los factores utilizados en la línea de evaporación pueden tener investigaciones experimentales para cada cuenca.

9- Se propone desarrollar proyectos de investigación enfocados en la interfase agua-aceite para cuantificar el impacto del efecto *salting-out* sobre la partición de biomarcadores y compuestos polares (como los ácidos nafténicos). Estudiar de forma conjunta las firmas hidrogeoquímicas de baja salinidad y la distribución de metabolitos específicos de la degradación microbiana validará con mayor resolución los frentes de biodegradación activa y lavado por agua en los flancos de las cuencas.

10- Se podría utilizar el modelo hidrogeoquímico regional y la capacidad de amortiguamiento (buffer) de pH identificada en cuencas de alta salinidad (como la Cuenca Oriental) para evaluar la viabilidad de proyectos de secuestro geológico de carbono. El estudio de las interacciones termodinámicas roca-fluido bajo altas presiones y temperaturas es la base fundamental para predecir la retención geoquímica a largo plazo del CO_2.

CAPÍTULO XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdou, M., Carnegie, A., McCarthy, G., O'Keefe, M., Raghuraman, B., Wei, W., & Xian, C. (2011). Finding value in formation water. *Oilfield Review*, *23*, 24–31.

Alcalá, F., & Custodio, E. (2008). Using the Cl/Br ratio as a tracer to identify the origin of salinity in aquifers in Spain and Portugal. *Journal of Hydrology*, *359*(1–2), 189–207. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.06.028

Althaus, R., Klump, S., Onnis, A., Kipfer, R., Purtschert, R., Stauffer, F., & Kinzelbach, W. (2009). Noble gas tracers for characterisation of flow dynamics and origin of groundwater: A case study in Switzerland. *Journal of Hydrology*, *370*(1–4), 6–17. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.02.053

Alvarado, J., Seiler, K., & Trimborn, P. (1996). Investigación hidrogeológica, isotópica e hidroquímica de la cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. En International Atomic Energy Agency (Ed.), *Isotopes in Water Resources Management: Proceedings of a Symposium on Isotopes in Water Resources Management* (pp. 281–300). International Atomic Energy Agency.

Anderson, V. J., Horton, B. K., Saylor, J. E., Mora, A., Tesón, E., Breecker, D. O., & Ketcham, R. A. (2016). Andean topographic growth and basement uplift in southern Colombia: Implications for the evolution of the Magdalena, Orinoco, and Amazon river systems. *Geosphere*, *12*(4), 1235–1256. https://doi.org/10.1130/GES01294.1

Angulo, B. (2011). *Estado del arte Hidrogeoquímica de aguas subterráneas* (Informe técnico confidencial SEA-00230). PDVSA.

Angulo, B. (2016). *Estrategia analítica para la determinación de la edad de las aguas asociadas a los hidrocarburos en las áreas de Moporo, Franquera y La Ceiba* (Informe interno confidencial INT-15029). PDVSA.

Angulo, B. (2021, mayo). *Hidrogeoquímica Isotópica aplicada a la industria del Petróleo* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=aS1N54kWJxw

Angulo, B., Cabrera, F., Casalins, A., Vasquez, J., & Volcan, J. (2016). *Origen y evolución de las aguas subterráneas asociadas a hidrocarburos en el área PDVSA-Sinovensa, Bloque Carabobo FPOHC* (Informe técnico interno confidencial). PDVSA.

Appelo, C. A., & Postma, D. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution* (2nd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781439833544

Argust, P. (1998). Distribution of boron in the environment. *Biological Trace Element Research*, *66*(1–3), 131–143. https://doi.org/10.1007/BF02783133

Azpiritxaga, I., & Casas, J. (1989). Estudio sedimentológico de las formaciones Mirador y Carbonera en el río Lobaterita, Estado Táchira, Venezuela. *GEOS*, *29*.

Back, W. (2005). Origin of hydrogeochemical facies of groundwater in the Atlantic Coastal Plain. *Hydrogeology Journal*, *13*(1), 263–287.

Back, W., & Hanshaw, B. (1965). Chemical geohydrology. En V. T. Chow (Ed.), *Advances in hydroscience* (Vol. 2, pp. 49–109). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-1-4831-9933-7.50008-0

Baquero, M., Utrera, O., Silva, M., Varela, D., Bastos, P., Romero, F., . . . Boesi, T. (2010). *Proyecto Falcón Oriental*. PDVSA (Informe técnico interno confidencial).

Barreto, R. J. (2017). *Estudio hidrogeoquímico e isotópico de las aguas formacionales presentes en los yacimientos de la Formación Oficina del Campo Petrosinovensa, Área Carabobo; Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez* [Trabajo especial de grado, Universidad Central de Venezuela]. https://saber.ucv.ve/bitstream/10872/19602/1/Tesis%20Barreto%20Raquel.pdf

Barreto, R., & Martínez, L. (2021). *Recopilación y validación de datos hidrogeoquímicos en la división Carabobo de la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez* (Documento interno confidencial NTE-03928). PDVSA.

Blount, C. W., & Dickson, F. W. (1973). Gypsum-anhydrite equilibria in systems $CaSO_4 \cdot H_2O$ and $CaSO_4$-NaCl$\cdot H_2O$. *American Mineralogist*, *58*(3–4), 323–331. https://minsocam.org/ammin/AM58/AM58_323.pdf

Blount, C. W., & Dickson, F. W. (1973). Gypsum-anhydrite equilibria in systems $CaSO_4 \cdot H_2O$ and $CaSO_4$-NaCl-H_2O. *American Mineralogist*, *58*(3–4), 323–331.

Böhlke, J. K., & Horan, M. F. (2000). *Strontium isotope geochemistry of groundwater in the United States* (Water-Resources Investigations Report 00-4229). U.S. Geological Survey.

Bon, A. F., Ngo Ngoss, T. A., Mboudou, G. E., Banakeng, L. A., Ndam Ngoupayou, J., & Ekodeck, G. E. (2021). Groundwater flow patterns, hydrogeochemistry and metals background levels of shallow hard rock aquifer in a humid tropical urban area in sub-Saharan Africa: A case study from Olézoa watershed (Yaoundé-Cameroon). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *37*, Article 100904. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100904

Boschetti, T., Angulo, B., Quintero, F., & Volcán, J. (2018). Chemical and stable isotope composition (18O, 16O, 2H/1H) of formation waters from the Carabobo oilfield, Venezuela. *Geologica Acta*, *16*(3), 257–264. https://doi.org/10.1344/GeologicaActa2018.16.3.2

Bowen, R. (1986). *Groundwater*. Springer Science & Business Media.

Bustamante Ibáñez, E. A., y Leal, J. A. (2017). *Identificación de procesos hidrogeoquímicos aplicando modelación inversa en el acuífero Soconusco, Chiapas*. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica.

Callejón, A., González, A., Hernández, V., Elrod, L., Lacey, J., Thompson, K., . . . Loureiro, D. (1998). *Inversión geoquímica flanco sur andino sector Barinas Portuguesa*. PDVSA.

Callejón, A., González, A., Hernández, V., Elrod, L., Lacey, J., Thompson, K., . . . Loureiro, D. (1998). *Inversión geoquímica flanco sur andino sector Barinas Portuguesa*. PDVSA.

Calvo Gordaliza, A. I., Castro Izquierdo, A., & Fraile, R. (2009). Caracterización del aerosol marino. *Boletín de la Sociedad Española de Hidrología Médica*. https://doi.org/10.23853/bsehm.2009.0443

Calvo Gordaliza, A. I., Castro Izquierdo, A., & Fraile, R. (2009). Caracterización del aerosol marino. *Boletín de la Sociedad Española de Hidrología Médica*. https://doi.org/10.23853/bsehm.2009.0443

Carothers, W. W., & Kharaka, Y. K. (1980). Stable carbon isotopes of HCO_{3}^{-} in oil-field waters—implications for the origin of CO_{2}. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *44*(2), 320–330. https://doi.org/10.1016/0016-7037(80)90140-4

Carrera, L., Pérez, R., Boggio, W., Sampol, M., Orozco, G., & Díaz, R. (2011). El patrimonio geológico e histórico en Venezuela, oportunidades culturales y económicas: “Museo interactivo geohistórico vial del estado Bolívar”. En *Geociencias*. Sociedad Cubana de Geología.

Castillo, M. A. (2010, 22 de noviembre). *Relieve venezolano*. SlideShare. https://es.slideshare.net/marianto96/relieve-venezolano-5867809

Chakraborty, M., Mishra, A., & Mukherjee, K. A. (2022). Influence of hydrogeochemical reactions along flow paths on contrasting groundwater arsenic and manganese distribution and dynamics across the Ganges River. *Chemosphere*, *287*, 132–144. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132144

Chebotarev, I. I. (1955). Metamorphism of natural waters in the crust of weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *8*(1–2), 22–48. https://doi.org/10.1016/0016-7037(55)90015-6

Clark, I. (2015). *Groundwater geochemistry and isotopes*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/b18347

Clark, I. D., & Fritz, P. (2013). *Environmental isotopes in hydrogeology*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781482242911

Collins, A. G. (1975). *Geochemistry of oilfield waters*. Elsevier.

Cordero, M., Álvarez, M. C., Barrios, Y., Cortés, S., Fajardo, A., Grillet, R., . . . Terán, E. (2006). *Estudio integrado de los sistemas petrolíferos de Venezuela occidental* [Informe técnico]. PDVSA.

Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, *133*(3465), 1702–1703. https://doi.org/10.1126/science.133.3465.1702

Craig, H., & Gordon, L. (1965). Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and marine atmosphere. En E. Tongiorgi (Ed.), *Stable isotopes in oceanographic studies and paleotemperatures* (pp. 9–130). Spoleto.

Custodio, E., & Llamas, M. (1976). *Hidrología subterránea*. Omega.

Davis, S. N., & De Wiest, R. (1971). *Hidrogeología*. Ariel.

Davis, S. N., & De Wiest, R. (1971). *Hidrogeología*. Ariel.

De Sousa, F. (2006). *Caracterización geoquímica de las aguas subterráneas de la cuenca del río Carapo, estado Bolívar, Venezuela* [Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela].

Diamond, R. E. (2022). *Stable isotope hydrology*. The Groundwater Project. https://doi.org/10.21083/978-1-77470-043-3

Diamond, R. E. (2022). *Stable isotope hydrology*. The Groundwater Project. https://doi.org/10.21083/978-1-77470-043-3

Díaz, & Díaz. (1996). La hidrogeología de explotación gasopetrolífera: Experiencia en un yacimiento cubano. En J. R. Fagundo (Ed.), *Contribuciones a la hidrogeología y medio ambiente en Cuba* (Vol. 3, p. 200). Publicacions de la Universitat Jaume I.

Díaz, R. (2011). *Caracterización petrológica y geofísica del Complejo de Imataca en el sector La Quina, estado Bolívar, Venezuela*. En Depósitos metálicos, mineralogía y petrología (GEO4-P8).

Domenico, P. A., & Schwartz, F. W. (1990). *Physical and chemical hydrogeology*. John Wiley & Sons.

Drever, J. I. (1997). *The geochemistry of natural waters*. Prentice Hall.

Duan, R., Chang, L., Gu, X., Li, X., You, X., Zhang, Q., & Wang, Q. (2024). The hydrogeochemical processes of groundwater in the Bieletan Area, the Western potash production region in China. *Water*, *16*(13), 1833.

Escalante, J., Ula, O. G., Guerrero, O., Cantos, G., Gómez, J., Sánchez, E., & Odreman, O. (2011). *Sedimentación y estratigrafía cretácica-terciaria del flanco surandino de la cuenca de Barinas: Sección Barinas-Altamira de Cáceres* [Guía de campo]. Grupo de Investigación TERRA ULA y PDVSA. https://doi.org/10.13120/RG.2.1.3635.3520

Fisher, R. S., & Boles, J. R. (1990). Water–rock interaction in Tertiary sandstones, San Joaquin basin, California, USA: Diagenetic controls on water composition. *Chemical Geology*, *82*, 83–101.

Fournier, R. O., & Potter, R. W., II. (1982). An equation correlating the solubility of quartz in water from 25 to 900 °C at pressures up to 10,000 bars. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *46*(10), 1969–1973. https://doi.org/10.1016/0016-7037(82)90135-1

Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall.

García Villanueva, L. A. (2023). *Apuntes de hidrogeoquímica*. Universidad Nacional Autónoma de México. http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/RepoFi/18203/%282023%29_Apuntes_de_hidrogeoquimica.pdf

Gat, J. (1996). Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrologic cycle. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, *24*, 225–262. https://doi.org/10.1146/annurev.earth.24.1.225

Gat, J. R. (2010). *Isotope hydrology: A study of the water cycle*. World Scientific. https://doi.org/10.1142/p027

Gonfiantini, R. (1986). Environmental isotopes in lake studies. En P. Fritz & J. Fontes (Eds.), *Handbook of environmental isotope geochemistry* (Vol. 2, pp. 113–168). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42225-5.50008-5

González, L., Castrillo, J., Hervoüet, Y., Dhont, D., Odreman, O., Bongiorno, F., & Mazuera, F. (2018). Tectónica transpresiva e inversión de grábenes jurásicos en los Andes septentrionales venezolanos: Región de Barbacoas-Los Humocaros, estado Lara, y Árbol Redondo, Santa Ana, estado Trujillo, Venezuela. *Ciencia e Ingeniería*, *39*(2).

Guerra, F., & González, J. (2002). Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada La Bermeja, San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela. *Geoenseñanza*, *7*(1–2), 88–108. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3607020

Guerrot, C., Millot, R., Innocent, C., Négrel, P., & Sanjuan, B. (2010, diciembre). *Chemical multi-isotopic (Li-B-Sr-U-H-O) and thermal characterization of Triassic formation waters from the Paris Basin* [Resumen H23D-1220]. AGU Fall Meeting.

Güler, C., Thyne, G., & McCray, J. (2002). Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. *Hydrogeology Journal*, *10*(4), 455–474. https://doi.org/10.1007/s10040-002-0196-6

Harvie, C. E., Møller, N., & Weare, J. H. (1984). The prediction of mineral solubilities in natural waters: The Na-K-Mg-Ca-H-Cl-SO4-OH-HCO3-CO3-CO2-H2O system to high ionic strengths at 25 °C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *48*(4), 723–751. https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90098-X

Hem, J. D. (1970). *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water* (2.ª ed.; USGS Water-Supply Paper 1473). U.S. Government Printing Office. https://doi.org/10.3133/wsp1473

Hidalgo-Esteves, M., & Cruz San Julián, J. (1999). Distribución de constituyentes minoritarios y traza en las aguas subterráneas de la cuenca de Baza (Granada). *Geogaceta*, *25*, 99–102.

Hoefs, J. (2009). *Stable isotope geochemistry* (6.ª ed.). Springer.

Horita, J., & Wesolowski, D. (1994). Liquid–vapor fractionation of oxygen and hydrogen isotopes of water from freezing to the critical temperature. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *58*(16), 3425–3437. https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90096-5

Hounslow, A. (2018). *Water quality data: Analysis and interpretation*. CRC Press.

Huh, Y., Chan, L. H., & Edmond, J. M. (1998). Lithium and its isotopes in major world rivers: Implications for weathering and the oceanic budget. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *62*(12), 2039–2051. https://doi.org/10.1016/S0016-7037(98)00126-4

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMEH]. (2024, 9 de junio). *Reporte meteorológico y del clima 2024*. http://inameh.gob.ve/web/p4.php

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMEH]. (2025, 8 de junio). *Orinoco*. http://inameh.gob.ve/web/robolivar.php

International Atomic Energy Agency & World Meteorological Organization. (2023). *Global network of isotopes in precipitation (GNIP)*. https://nucleus.iaea.org/wiser

INTEVEP. (2014). *Caracterización geoquímica del Mene Isla El Bolsillo* [Informe técnico]. PDVSA.

Jiang, W., Sheng, Y., Shi, Z., Guo, H., Chen, X., Mao, H., Liu, F., Ning, H., Liu, N., & Wang, G. (2024). Hydrogeochemical characteristics and evolution of formation water in the continental sedimentary basin: A case study in the Qaidam Basin, China. *Science of the Total Environment*, *957*, 177672. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177672

Kendall, C., & Doctor, D. (2004). Stable isotope applications in hydrologic studies. En W. H. Schlesinger (Ed.), *Treatise on geochemistry* (Vol. 16, pp. 319–346). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/05081-7

Kharaka, Y. K., & Hanor, J. S. (2003). Deep fluids in the continents: I. Sedimentary basins. En H. D. Holland & K. K. Turekian (Eds.), *Treatise on geochemistry* (Vol. 5, pp. 499–539). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/05085-4

Kharitonova, N. A., Aseeva, A. V., & Lukanovet, D. D. (2021). Hydrogeochemistry and hydrogeological model of CO_{2}-rich springs on Buryatia Territory (Russia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *720*, 012012. https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012012

Knauth, L. P. (1988). Origin and mixing history of brines, Palo Duro Basin, Texas, USA. *Applied Geochemistry*, *3*(5), 455–474.

Kroopnick, P. (1985). The distribution of 13C of CO2 in the world oceans. *Deep Sea Research Part A: Oceanographic Research Papers*, *32*(1), 57–84. https://doi.org/10.1016/0198-0149(85)90017-2

Langmuir, D. (1997). *Aqueous environmental geochemistry*. Prentice Hall.

Larios, H. (1950). Distribución geoquímica del potasio desde el punto de vista de su aprovechamiento industrial. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, *15*(1), 65–85. https://doi.org/10.18268/BSGM1950v15n1a4

Larter, S., Wilhelms, A., Head, I., Koopmans, M., Aplin, A., Di Primio, R., . . . Telnaes, N. (2003). The controls on the composition of biodegraded oils in the deep subsurface—Part 1: Biodegradation rates in petroleum reservoirs. *Organic Geochemistry*, *34*(4), 601–613. https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2005.04.023a

Li, M., Duan, Z., Zhang, Z., Zhang, C., & Weare, J. (2008). The structure, dynamics and solvation mechanisms of ions in water from long time molecular dynamics

simulations: A case study of CaCl2 (aq) aqueous solutions. *Molecular Physics*, *106*(24), 2685–2697.

Li, Y.-L., Miao, W.-L., He, M. Y., Li, C.-Z., Gu, H.-E., & Zhang, X.-Y. (2023). Origin of lithium-rich salt lakes on the western Kunlun Mountains of the Tibetan Plateau: Evidence from hydrogeochemistry and lithium isotopes. *Ore Geology Reviews*, *155*, 105356. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2023.105356

Liu, D., Xiong, W., Zhang, X., Guo, W., Li, W., Gao, J., Kang, L., Liu, Y., Shao, Z., Zhang, L., Yu, C., Liao, F., Fang, C., Dai, J., Song, C., Peng, X., Yao, L., & Ni, Y. (2024). Hydrogeochemistry and indicators of flowback and produced water from wells that are hydraulically fractured with recycled wastewater: A case study of the Changning gas field in the Sichuan Basin. Applied Geochemistry, 162, 105897. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2024.105897

Liu, Y., Jiao, J. J., Liang, W., & Kuang, X. (2017). Hydrogeochemical characteristics in coastal groundwater mixing zone. *Applied Geochemistry*, *85*, 49–60. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.09.002

López O., D. A. (2018). *Estudio geoquímico de las aguas de formación asociadas al miembro Morichal del campo Petromonagas, área Carabobo de la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez* [Tesis de grado, Universidad Central de Venezuela].

Lozano-Rivas, W. (2013). *Calidad fisicoquímica del agua: Métodos simplificados para su muestreo y análisis*. Universidad Piloto de Colombia. https://doi.org/10.2307/j.ctt18d84j2

Majoube, M. (1971). Fractionnement en oxygène-18 et en deutérium entre l'eau et sa vapeur. *Journal de Chimie Physique*, *68*, 1423–1436. https://doi.org/10.1051/jcp/1971681423

Mandel, S., & Shiftan, Z. L. (1981). *Groundwater resources investigation and development*. Academic Press.

Martínez, M., Garbán, G., Benavides, A., Escobar, M., & Esteves, I. (2005). Detection and interpretation of cyclic patterns in coals from Los Cuervos Formation, Venezuela. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, *28*(3), 223–233. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702005000300008

Medina, D., Montilla, N., & Pimstein, L. (2015). Mapa de unidades de suelo y litología superficial como contribución al proyecto Gestión Integral de Riesgos en Espacios Urbanos - Fase Mérida, Venezuela. *Boletín de Geología*, *37*(1), 83–97.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-02832015000100008

Méndez, M., Anka, Z., García, B., & Ruggiero, A. (1996). *Modelo hidrogeoquímico de dos transectos en el área mayor de Oficina, Cuenca Oriental de Venezuela* [Informe técnico confidencial, código 007407]. PDVSA.

Ministerio de Energía y Minas. (1997). *Léxico estratigráfico de Venezuela*. *Boletín de Geología*, *12*, 1–828.

Montero, R. L., & Martínez, M. (2014). Composición fisicoquímica de aguas ácidas procedentes de dos minas de carbón: Lobatera, estado Táchira, Venezuela. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, *29*(4), 55–66.

Mook, W. G. (2000). *Environmental isotopes in the hydrological cycle: Principles and applications*. UNESCO; International Hydrological Programme.

Mora, A., Baby, P., Roddaz, M., Parra, M., Brusset, S., Hermoza, W., & Espurt, N. (2010). Tectonic history of the Andes and sub-Andean zones: Implications for the development of the Amazon drainage basin. En C. Hoorn & F. P. Wesselingh (Eds.), *Amazonia, landscape and species evolution: A look into the past* (pp. 38–60). Wiley-Blackwell.

Morán Ramírez, J. (2000). *Modelación hidrogeoquímica en tres ambientes naturales en México: Cárstico, volcánico y cuenca sedimentaria* [Tesis de doctorado, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica]. http://hdl.handle.net/11627/3042

Morse, J. W., Arvidson, R. S., & Lüttge, A. (2007). Calcium carbonate formation and dissolution. *Chemical Reviews*, *107*(2), 342–381. https://doi.org/10.1021/cr050358j

Moscardelli, L., & Lorente, M. A. (2002). *Cicloestratigrafía de las Formaciones Morichito, Las Piedras y Mesa, Norte de Monagas, Venezuela Oriental* [Ponencia]. I Congreso Virtual de Sedimentología, Caracas, Venezuela.

Mukherjee, A., Coomar, P., Sarkar, S., Johannesson, K. H., Fryar, A. E., Schreiber, M. E., Ahmed, K. M., Alam, M. A., Bhattacharya, P., Bundschuh, J., Burgess, W., Chakraborty, M., Coyte, R., Farooqi, A., Guo, H., Ijumulana, J., Jeelani, G., Mondal, D., Nordstrom, D. K., … Vengosh, A. (2024). Arsenic and other geogenic contaminants in global groundwater. *Nature Reviews Earth & Environment*, 5, 607–624. https://doi.org/10.1038/s43017-024-00519-z

Navarro-Ciurana, D., Saleta-Daví, A., Otero, N., Torrentó, C., Quintana-Sotomayor, C., San Miguel-Cornejo, D., . . . Soler, A. (2023). Quantifying the potential seepage

from porphyry copper tailing impoundments using a multi-isotopic approach. *Science of the Total Environment*, *890*, 164446. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164446

Nordstrom, D. K. (1994). *Geochemical thermodynamics*. Blackwell Scientific.

Nordstrom, D. K. (2004). Modeling low-temperature geochemical processes. En J. I. Drever (Ed.), *Treatise on geochemistry* (Vol. 5, pp. 37–72). Elsevier.

Nordstrom, D. K., & Alpers, C. N. (1999). Negative pH and extremely acidic waters from Iron Mountain, California. *Environmental Science & Technology*, *33*(2), 254–258. https://doi.org/10.1021/es990646v

Novikov, D. A. (2017). Hydrogeochemistry of the Arctic areas of Siberian petroleum basins. *Petroleum Exploration and Development*, *44*(5), 780–788. https://doi.org/10.1016/S1876-3804(17)30088-5

Olivares, C. (2006). *Caracterización geoquímica de crudos, impregnaciones, menes de petróleo y gas de las cuencas Oriental y Barinas de Venezuela* [Informe técnico]. PDVSA.

Organización Mundial de la Salud. (2022). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora el primero y segundo addenda*. https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064

Organization of the Petroleum Exporting Countries. (2025). *Annual statistical bulletin* (60th ed.). https://www.opec.org/assets/assetdb/asb-2025.pdf

Ostos, M., Yoris, F., & Lallemant, H. (2005). Overview of the southeast Caribbean-South American plate boundary zone. En G. R. Keller & T. Hildenbrand (Eds.), *Eastern Caribbean plate boundary* (GSA Special Paper 394, pp. 53–89). Geological Society of America. https://doi.org/10.1130/0-8137-2394-9.53

Parkhurst, D. L., Plummer, L. N., & Thorstenson, D. C. (1982). *BALANCE: A computer program for calculating mass transfer for geochemical reactions in groundwater* (Water-Resources Investigations Report 82-14). U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/wri8214

Parkhurst, D. L., Thorstenson, D. C., & Plummer, L. N. (1982). *PHREEQE: A computer program for geochemical calculations* (Water-Resources Investigations Report 80-96). U.S. Geological Survey.

Parnoud, F., Passalacqua, H., De Toni, B., Loureiro, D., Gou, Y., Gallango, O., . . . Roure, F. (1994). *Análisis geológico integrado de las cuencas de Barinas y Maracaibo* [Informe técnico INT-02893]. PDVSA.

Parra, K., Santiago, N., Escorcia, L., Hernández, Z., Luna, H., Marcano, E., . . . Rivas, Y. (2018). *Proyecto de evaluación del sistema petrolífero subcuenca de Guárico* [Informe técnico]. PDVSA Exploración Oriente.

PDVSA. (1971). *Análisis fisicoquímico de muestra de agua* [Informe confidencial, Carpeta de Pozo].

PDVSA. (s.f.). *La industria*. http://www.pdvsa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=8917&Itemid=569&lang=es

Pepper, A. S., & Corvi, P. J. (1995). Simple kinetic models of petroleum formation. Part I: Oil and gas generation from kerogen. *Marine and Petroleum Geology*, *12*(3), 291–319. https://doi.org/10.1016/0264-8172(95)98381-E

Peters, K. E., & Moldowan, J. M. (1993). *The biomarker guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*. Prentice Hall.

Peters, K. E., Walters, C. C., & Moldowan, J. M. (2005). *The biomarker guide: Biomarkers and isotopes in the environment and human history* (Vol. 2). Cambridge University Press.

Phillips, F. M., & Castro, M. C. (2003). Groundwater dating and residence time measurement. En H. D. Holland & K. K. Turekian (Eds.), *Treatise on geochemistry* (Vol. 9, pp. 245–282). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/05136-7

Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, *25*(6), 914–928. https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914

Plechacek, A., Scott, S. R., Gotkowitz, M. B., & Ginder-Vogel, M. (2022). Strontium and radium occurrence at the boundary of a confined aquifer system. *Applied Geochemistry*, *142*, 105332. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2022.105332

Plummer, L. N., Prestemon, E. C., & Parkhurst, D. L. (1994). *An interactive code (NETPATH) for modeling NET geochemical reactions along a flow path* (Water-Resources Investigations Report 94-4169). U.S. Geological Survey.

Ponton Jimenes, E. A. (2018). *Evaluación hidrogeoquímica y calidad química de las aguas de la laguna Píritu del edo. Anzoátegui, Venezuela* [Tesis de grado, Universidad Central de Venezuela].

Post, V. E., Groen, J., Kooi, H., Person, M., Ge, S., & Edmunds, W. M. (2013). Offshore fresh groundwater reserves as a global phenomenon. *Nature*, *504*(7478), 71–78.

Price, L. C. (1976). Aqueous solubility of petroleum as applied to its origin and primary migration. *AAPG Bulletin*, *60*(2), 213–244. https://doi.org/10.1306/83D922A8-16C7-11D7-8645000102C1865D

Rimstidt, J. D. (1997). Quartz solubility at low temperatures. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *61*(13), 2553–2558. https://doi.org/10.1016/S0016-7037(97)00103-8

Rodríguez, R. (2012, 19 de enero). *Correlaciones estratigráficas de Venezuela*. Geología Venezolana. https://geologiavenezolana.blogspot.com/2012/01/correlaciones-estratigraficas-de.html

Santiago, N., Bastardo, M., Bellizzi, L., Hernández, Z., Herrera, M., Marcano, E., . . . Repilloza, H. (2015). *Proyecto de evaluación del sistema petrolífero Monagas* [Informe técnico]. PDVSA Exploración Oriente.

Santiago, N., Bellizzi, L., Escorcia, L., Hernández, M., Hernández, Z., Lara, J., . . . Rivas, Y. (2014). *Proyecto de evaluación de sistemas petrolíferos Apure – Portuguesa* [Informe técnico]. PDVSA Exploración Oriente.

Santos, A. (1974). *Estudio del medio poroso en las formaciones Mesa y Las Piedras para el desarrollo de aguas subterráneas en el área mayor de Oficina, cuadrángulo de Oficina, estado Anzoátegui* [Tesis de grado, Universidad Central de Venezuela].

Schmitz, M., Audemard, F., & Urbani, F. (2014). El límite noreste de la placa suramericana: Estructuras litosféricas de la superficie al manto. En *Geodinámica de la corteza y el manto superior en la región del Caribe* (pp. 29–77).

Schoeller, H. (1977). Geochemistry of groundwater. En UNESCO (Ed.), *Groundwater studies: An international guide for research and practice* (pp. 1–18). UNESCO.

Schroder, I., Wallace, L., & de Caritat, P. (2020). *The Northern Australia hydrogeochemical survey: Aquifer lithologies, local backgrounds and undercover processes*. Geoscience Australia.

Selley, R. C., & Sonnenberg, S. A. (2023). The subsurface environment. En *Elements of petroleum geology* (4.ª ed.). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822316-1.00004-5

Singer, J., Laurent, P., & Bernys, J. (1997). *WEC: Evaluación de pozos-Venezuela* [Informe técnico]. PDVSA.

Sofer, Z. (1984). Stable carbon isotope compositions of crude oils: Application to source depositional environments and petroleum alteration. *AAPG Bulletin*, *68*(1), 31–49. https://doi.org/10.1306/AD460963-16F7-11D7-8645000102C1865D

Soler, A., Otero, N., Rosell, M., Carrey, R., & Domènech, C. (s.f.). *Isótopos de la molécula del agua*. Universitat de Barcelona, Facultat de Geologia. https://www.ub.edu/minegeodes/images/IL3/Tema2_Link2_Isotopos_agua.pdf

Stiff, H. A. (1951). The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. *Journal of Petroleum Technology*, *3*(10), 15. https://doi.org/10.1121/951376-G

Stoufer, S., Rocha-Mello, M., Chigné, N., & Sánchez, H. (1996). *Geochemical characterization of crude oils from Eastern Venezuela Basin* [Informe técnico]. PDVSA.

Sulin, V. A. (1946). *Water of petroleum formation in system of natural waters*. Costoptekhizdat.

Talukdar, S. (2007). *Geochemical evaluation of source rocks and oil impregnations from the Espino Graben Area, Venezuela* [Informe técnico]. PDVSA.

Toro, M. (1998). *Evaluación geoquímica de una muestra de crudo y tres muestras de agua en la cuenca Barinas* [Informe técnico]. PDVSA.

Truesdell, A. H., & Jones, B. F. (1974). WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibria of natural waters. *Journal of Research of the U.S. Geological Survey*, *2*(2), 233–248.

Van Voast, W. (2003). Geochemical signature of formation waters associated with coalbed methane. *AAPG Bulletin*, *87*(4), 667–676. https://doi.org/10.1306/10300201079

Vásquez Castro, Y. E. (1998). *Caracterización geoquímica de las aguas de formación del Domo Sur, Campo Motatán, Cuenca del Lago de Maracaibo* [Tesis de grado, Universidad Central de Venezuela].

Vegas Rodríguez, D. S. (2016). *Estudio hidrogeoquímico y de la calidad de las aguas subterráneas a partir del método estadístico fuzzy set en la cuenca del río Palmar, municipio Rosario de Perijá, estado Zulia* [Tesis de grado, Universidad Central de Venezuela].

Veil, J., Puder, M. G., & Eicock, D. (2004). *A white paper describing produced water from production of crude oil, natural gas and coal bed methane* (Report No. ANL/EA/RP-112631). U.S. Department of Energy. https://doi.org/10.2172/821666

Vel'kov, A. (1960). Hydrochemical indicators of gas and oil productivity. *Petroleum Geology*, *4*, 539–541.

Vitoria, I., Maraver, F., Sánchez-Valverde, F., & Armijo, F. (2015). Contenido en nitratos de aguas de consumo público españolas. *Gaceta Sanitaria*, *29*(3), 217–220. https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2014.12.007

Widory, D., Kloppmann, W., Chery, L., Bonnin, J., Rochdi, H., & Guinamant, J. (2004). Nitrate in groundwater: An isotopic multi-tracer approach. *Journal of Contaminant Hydrology*, *72*(1–4), 165–188. https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2003.10.010

Yuretich, R. F., Crerar, D. A., Kinsman, D. J., Means, J. L., & Borcsik, M. P. (1981). Hydrogeochemistry of the New Jersey Coastal Plain: I. Major-element cycles in precipitation and river. *Chemical Geology*, *33* (1–4), 1–21. https://doi.org/10.1016/0009-2541(81)90083-8

Zamora, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto (ASADAS) de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela. *Revista Pensamiento Actual*, *9*(12–13), 125–134.

Zhang, T., Gregory, K., Hammack, R. W., & Vidic, R. D. (2014). Co-precipitation of radium with barium and strontium sulfate and its impact on the fate of radium during treatment of produced water from unconventional gas extraction. *Environmental Science & Technology*, *48*(8), 4596–4603. https://doi.org/10.1021/es504656q

Zhu, S., Wang, Y., Hursthouse, A., Luo, W., & Maher, W. A. (2024). Modelling selenium behavior in aquatic systems: A review of status, challenges, and opportunities. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(9), 12832–12840. https://doi.org/10.1007/s11356-024-32091-w

Zilberberg, S. (1994). *Hidrodinamismo existente en la cuenca de Barinas y sus efectos sobre la producción de hidrocarburos en los yacimientos del área mayor de San Silvestre, distrito Barinas*. AAPG/Data Pages Combined Publications Database. https://doi.org/10.3997/2214-4609-pdb.116.060esp

Anexos

ANEXO A. DATOS BÁSICOS DE LA BASE DE DATOS HIDROGEOQUÍMICA UTILIZADA EN LA INVESTIGACIÓN

REFERENCIA	POZO CODIFICADO	X (grados decimales)	Y (grados decimales)	Proyección	CUENCA	FECHA	RESERVORIO	UNIDAD	Tope (pies)	Base (pies)
SIMDE ORIENTE	M-1	-63,6209	9,2349	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	11/08/1972	OFICINA ROC	UD IV	12316	12340
SIMDE ORIENTE	M-2	-63,5785	9,2293	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	24/09/1986	R1S	UD IV	11970	11984
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-3	-70,0752	8,4320	Geográficas	BARINAS APURE	27/11/2001	ESCANDALOSA	UD II	10318	10344
SIMDE ORIENTE	M-4	-64,8058	8,8451	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	29/03/1971	U-1	UD IV	4520	4570
SIMDE ORIENTE	M-5	-63,4491	9,1690	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	16/08/2001	F3	UD IV	9058	9066
SIMDE ORIENTE	M-6	-64,6188	8,9875	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	19/10/1990	O2L	UD IV	5407	5468
SIMDE ORIENTE	M-7	-63,4653	9,2521	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	12/09/1986	M-4	UD IV	11661	11801
VISDOC MARACAIBO	M-8	-72,1765	10,1630	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	27/12/1958	LA SIERRA	UD IV	10708	S/INF
VISDOC MARACAIBO	M-9	-72,1765	10,1630	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	09/02/1959	LA SIERRA	UD IV	10708	S/INF
VISDOC MARACAIBO	M-10	-71,5596	10,4203	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	05/11/1984	LISURE-APON	UD II	15920	16253
VISDOC MARACAIBO	M-11	-71,5596	10,4203	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	05/08/1982	LISURE-APON	UD II	15920	16253
VISDOC MARACAIBO	M-12	-71,5596	10,4203	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	04/02/1982	LISURE-APON	UD II	15920	16253
SIMDE ORIENTE	M-13	-63,7211	9,2477	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	17/10/1986	Oficina R3,4	UD IV	12518	12692
SIMDE ORIENTE	M-14	-63,5921	9,2532	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	20/10/1977	OFICINA / ARENA R3	UD IV	12598	12618
SIMDE ORIENTE	M-15	-69,9893	8,2546	Geográficas	BARINAS APURE	02/02/1961	GOBERNADOR	UD IV	8782	S/INF
int-15031	M-16	-62,8720	8,7588	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Las piedras	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-17	-64,6226	9,3703	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MERECURE TM45	UD IV	12134	12154
SIMDE ORIENTE	M-18	-63,9431	9,3586	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	04/04/1986	Oficina U2-U	UD IV	13717	13742
VISDOC MARACAIBO	M-19	-71,2587	10,1225	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	LA VILLA LA PUERTA	UD VII	527	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-20	-70,0560	11,4119	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	La vela	UD VIII	0	3820
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-21	-70,0560	11,4119	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	La Vela	UD VIII	0	3820
VISDOC MARACAIBO	M-22	-71,6556	9,8890	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	10/11/1959	La Puerta	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
MAR-03082	M-23	-71,4469	10,7163	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa EOC5/7	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-24	-63,8918	9,2280	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	21/06/1955	U-3	UD IV	12595	12607
VISDOC MARACAIBO	M-25	-72,1630	10,1457	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	27/12/1958	APON	UD II	15960	16350
VISDOC MARACAIBO	M-26	-72,1543	10,1834	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	07/09/1984	APON (PICHE INFERIOR)	UD II	16152	16170
VISDOC MARACAIBO	M-27	-65,1906	9,0705	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	21/08/1957	Marcelina	UD III	11300	11341
SIMDE ORIENTE	M-69	-64,5330	8,9723	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	04/04/1990	CARAPITA INFERIOR	UD IV	17285	17527
VISDOC MARACAIBO	M-29	-71,0493	10,6986	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	17/06/1982	La Puerta	UD VII	4510	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-30	-71,0493	10,6986	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	24/05/1982	La Puerta	UD IV	4642	4656
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-31	-71,1022	10,6757	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	12/07/1982	cerro pelado/agua clara/Misoa/	UDIV o U	1898	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-32	-70,7703	7,1544	Geográficas	BARINAS APURE	30/08/1985	CARBONERA	UD V	6980	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-33	-70,7703	7,1544	Geográficas	BARINAS APURE	30/08/1985	QUEVEDO	UD II	7675	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-34	-64,1630	9,2262	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	24/02/1981	U-1	UD IV	11680	11807
SIMDE ORIENTE	M-77	-64,6080	8,8562	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	21/04/1947	santa Anita	UD IV	8148	8419
000576	M-316	-66,5266	8,6308	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	23/04/1947	santa Anita	UD IV	8149	8250
VISDOC MARACAIBO	M-37	-71,1891	9,9682	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	09/05/1947	Pauji	UD V	2603	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-28	-63,3407	9,6399	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Roblecito	UD IV	5823	5825
SIMDE ORIENTE	M-39	-64,7184	9,2722	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	08/06/1953	R-170	UD IV	3107	3114
SIMDE ORIENTE	M-40	-64,7184	9,2722	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	18/05/1953	D	UD IV	3930	3850
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-41	-70,1979	8,3034	Geográficas	BARINAS APURE	16/10/1997	GOBERNADOR	UD IV	10170	10180
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-42	-70,1979	8,3034	Geográficas	BARINAS APURE	19/10/1997	GOBERNADOR	UD IV	9674	9700-710
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-43	-70,1979	8,3034	Geográficas	BARINAS APURE	19/10/1997	GOBERNADOR	UD IV	9674	9700-710
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-44	-70,1979	8,3034	Geográficas	BARINAS APURE	19/10/1997	GOBERNADOR	UD IV	9674	9700-710
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-45	-70,1979	8,3034	Geográficas	BARINAS APURE	19/10/1997	GOBERNADOR	UD IV	9674	9700-710
INT 5064,1998	M-46	-70,1316	8,4154	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	ESCANDALOSA	UD II	10452	10480
INT 5064,1998	M-47	-70,1316	8,4154	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	NAVAY	UD II	10062	10080
INT 5064,1998	M-48	-70,1316	8,4154	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	ESCANDALOSA	UD II	10470	10505
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-49	-70,2369	8,4242	Geográficas	BARINAS APURE	21/01/2002	ESCANDALOSA O	UD II	12958	13044
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-50	-70,0942	8,3909	Geográficas	BARINAS APURE	21/01/2002	ESCANDALOSA P1	UD II	10910	10917
SIMDE ORIENTE	M-35	-63,6182	9,8404	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	01/03/1948	TEXTULARIA 2-6	UD VIII	5239	5356
VISDOC MARACAIBO	M-52	-71,9412	10,5190	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	23/09/1960	La Rosa	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-53	-63,2857	9,7477	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	08/03/1991	Naricual Inferior	UD IV	17020	17285
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-54	-70,2749	8,4977	Geográficas	BARINAS APURE	05/03/2001	ESCANDALOSA O	UD II	12818	12890
INT STE 00255,96	M-55	-70,1495	8,5602	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	S/INF	UD IV	11248	11255
INT STE 00255,96	M-56	-70,1495	8,5602	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	S/INF	UD II	11851	11870
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-57	-70,2933	8,5038	Geográficas	BARINAS APURE	03/10/1997	GOBERNADOR A/B	UD IV	11616	11636
SIMDE ORIENTE	M-58	-64,3381	9,0858	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	10/12/1952	N-1	UD IV	7850	7860
VISDOC MARACAIBO	M-59	-71,7948	10,7154	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	05/08/1982	Punta Gorda, "107" arena	UD IV	4380	5542
SIMDE ORIENTE	M-60	-63,8707	9,2806	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	12/05/1957	Oficina L3 Inferior	UD IV	12640	12646
VISDOC MARACAIBO	M-61	-71,8024	10,6709	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	17/09/1982	Misoa b	UD IV	3010	0
VISDOC MARACAIBO	M-62	-71,8099	10,6761	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	04/01/1983	Misoa A ó E	UD IV	1606	3050
VISDOC MARACAIBO	M-63	-71,8395	10,6276	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	30/03/1933	La Puerta	UD VII	595	1290
SIMDE ORIENTE	M-36	-63,6182	9,8404	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	29/03/1958	carapita	UD IV	8591	8610
SIMDE ORIENTE	M-65	-67,3292	8,3868	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	S/INF	UD IV	10390	10780
SIMDE ORIENTE	M-66	-67,3292	8,3868	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	S/INF	UD IV	7485	7425
SIMDE ORIENTE	M-67	-67,3292	8,3868	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA /COLORADO	UD IV	9748	9780
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-68	-69,9975	8,5270	Geográficas	BARINAS APURE	05/04/1968	Escandalosa O	UD II	10130	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-38	-66,0000	9,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	TEMBLADOR	UD II	7440	7450
SIMDE ORIENTE	M-70	-64,4276	9,0859	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	17/04/2013	U1M	UD IV	8852	8877
7270	M-71	-64,2630	8,8680	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MESA	UD VIII	240	S/INF
7270	M-72	-64,2630	8,8680	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MESA	UD VIII	240	S/INF
7270	M-73	-64,2630	8,8680	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MESA	UD VIII	465	S/INF
7270	M-74	-64,2630	8,8680	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MESA	UD VIII	465	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-75	-70,8886	7,1029	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	Leon	UD VI	7185	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-76	-70,8886	7,1029	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	Leon	UD VI	7446	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-64	-64,6284	8,7270	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	23/09/1942	Temblador	UD II	6310	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-78	-63,5380	9,6556	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	30/01/1989	NARICUAL SUPERFIOR A2	UD IV	15906	15946
VISDOC MARACAIBO	M-79	-71,3038	10,3802	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	20/06/1947	La Puerta	UD VII	12600	13060
SIMDE ORIENTE	M-80	-64,9196	9,4050	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MET24L	UD IV	9790	12084
SIMDE ORIENTE	M-81	-64,9196	9,4050	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Ofincina Monreno	UD IV	3990	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-82	-64,9196	9,4050	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Ofincina Monreno	UD IV	3990	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-83	-64,9196	9,4050	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Oficina Azul	UD IV	1900	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-84	-64,9196	9,4050	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Oficina Naranja	UD IV	4560	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-85	-64,9196	9,4050	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Oficina Azul	UD IV	2666	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-86	-64,9196	9,4050	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Ofincina Monreno	UD IV	4370	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-87	-63,0352	8,7636	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	14/01/1998	MORICHAL 27	UD IV	3011	3565
int-15061 y INT 15102	M-88	-71,0070	9,4530	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa B4	UD IV	5534	5691
int-15061 NTE-01971 y INT 15102	M-89	-70,9858	9,4976	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa B4	UD IV	5397	5413
SIMDE ORIENTE	M-90	-64,2794	9,0478	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	11/12/1947	Oficina R4	UD IV	7787	7797
7270	M-91	-64,2422	8,9937	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MESA	UD VIII	250	S/INF
7270	M-92	-64,2422	8,9937	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MESA	UD VIII	250	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-93	-64,3184	9,0084	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	04/03/1950	U1M	UD IV	7519	7527
VOLCÁN, 2015	M-94	-62,8857	8,7852	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2780	3240
VOLCÁN, 2015 Y int-15031	M-95	-62,8933	8,7473	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2780	3240
VOLCÁN, 2015 Y int-15031	M-96	-62,9151	8,7164	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Oficina Morichal	UD IV	2780	3240
int-15031	M-97	-62,9374	8,6839	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Miembro Morichal	UD IV	2780	3240
VOLCÁN, 2015 Y int-15031	M-98	-62,9396	8,7228	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2780	3240
VOLCÁN, 2015 Y int-15031	M-99	-62,9491	8,7032	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2780	3240
VOLCÁN, 2015 Y int-15031	M-100	-62,9384	8,7102	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2780	3240

REFERENCIA	POZO CODIFICADO	X (grados decimales)	Y (grados decimales)	Proyección	CUENCA	FECHA	RESERVORIO	UNIDAD	Tope (pies)	Base (pies)
VOLCÁN, 2015 Y int-15031	M-101	-62,9449	8,7126	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2780	3240
VOLCÁN, 2015 Y int-15031	M-102	-62,9283	8,6959	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2780	3240
VOLCÁN, 2015	M-103	-62,8876	8,7526	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2740	3210
int-15031	M-104	S/INF	S/INF	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Miembro Morichal	UD IV	2400	3600
int-15031	M-105	-62,8857	8,7852	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Freites	UD VIII	1409	S/INF
int-15031	M-106	S/INF	S/INF	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Miembro Morichal	UD IV	2740	3210
int 15175	M-107	-62,8933	8,7473	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MORICHAL O JOBO	UD IV	2740	3210
int 15175	M-108	-62,8876	8,7521	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Freites	UD IV	1785	S/INF
VOLCÁN, 2015	M-109	-62,9399	8,6954	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2740	3210
VISDOC MARACAIBO	M-110	-71,4683	9,7731	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	15/07/1957	Misoa C2	UD VII	10990	11340
VISDOC MARACAIBO	M-111	-71,4496	9,8718	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa C-4 C5	UD IV	11352	11815
VISDOC MARACAIBO	M-112	-72,4819	8,8318	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	13/07/1933	mirador	UD V	4171	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-113	-63,4151	9,7001	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	04/03/1989	NARICUAL INFERIOR	UD IV	15996	16098
SIMDE ORIENTE	M-114	-64,2635	9,7602	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	25/07/1960	Oficina Colorado	UD IV	6633	S/INF
VISDOC MARACAIBO	M-115	-72,5547	9,2447	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	27/10/1980	mirador	UD V	8752	8958
VISDOC MARACAIBO	M-116	-69,3099	11,4724	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	16/03/1937	SOCORRO 4	UD VIII	2321	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-117	-70,6412	8,5602	Geográficas	BARINAS APURE	16/04/1963	Paguey	UD IV	2300	2330
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-118	-70,6412	8,5602	Geográficas	BARINAS APURE	16/04/1963	Paguey	UD IV	2380	2420
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-119	-70,6412	8,5602	Geográficas	BARINAS APURE	17/04/1963	Paguey	UD IV	2210	2260
SIMDE ORIENTE	M-120	-64,3857	9,0736	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	15/03/1950	Oficina R1	UD IV	7902	7912
SIMDE ORIENTE	M-121	-65,8962	9,1416	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua G	UD IV	5760	5778
SIMDE ORIENTE	M-122	-65,8962	9,1416	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua G	UD IV	5762	5770
VISDOC MARACAIBO	M-123	-71,8657	10,8377	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	01/05/1988	Colon y La Luna	UD II	9078	9497
VISDOC MARACAIBO	M-124	-71,7771	10,9767	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	21/11/1950	Concepción Basal	UD IV	9200	10100
SIMDE ORIENTE	M-125	-63,7475	9,3084	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	08/06/1959	I-3	UD IV	13186	13205
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-126	-70,4917	11,0101	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	23/04/1949	Castillo	UD IV	1892	1927
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-127	-70,4917	11,0101	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	23/04/1949	Castillo	UD IV	1792	2004
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-128	-70,4498	10,9866	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Castillo	UD IV	4275	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-129	-70,4498	10,9866	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Castillo	UD IV	4272	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-130	-70,4498	10,9866	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Castillo	UD IV	4060	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-131	-70,4498	10,9866	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Cauderalito	UD VIII	3480	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-132	-70,4498	10,9866	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Santiago	UD VIII	2552	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-133	-70,4498	10,9866	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Santiago	UD VIII	1685	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-134	-70,4498	10,9866	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Santiago	UD VIII	1685	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-135	-70,0559	11,4118	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	02/08/1981	URUMACO AGUA CLARA O SOCORR	UD VIII	6183,99	6700
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-136	-70,0559	11,4118	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	URUMACO AGUA CLARA O SOCORR	UD VIII	6184	6700
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-137	-70,0559	11,4118	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	URUMACO AGUA CLARA O SOCORR	UD VIII	6184	6700
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-138	-70,8211	10,9780	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	20/02/1980	GRUPO COGOLLO	UD II	9851	11063
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-139	-70,8211	10,9780	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	20/02/1980	GRUPO COGOLLO	UD II	9851	11063
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-140	-70,6791	10,9970	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	20/02/1980	S/INF	UD VIII	963	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-142	-71,1949	10,9213	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Colon a Tibu	UD II	7385	10056
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-143	-70,5739	11,1848	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	30/11/1954	Cerro Pelado	UD VIII	8886	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-144	-62,7924	9,6832	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La pica	UD VIII	15520	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-145	-64,6929	8,9156	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA N2	UD IV	4528	4536
SIMDE ORIENTE	M-146	-64,6012	8,7849	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	09/06/2007	TS	UD IV	600	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-147	-64,3833	9,1964	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	12/12/1952	U6	UD IV	10408	10422
SIMDE ORIENTE	M-148	-64,3946	8,9629	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	17/06/1953	EU	UD IV	4359	4389
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-149	-69,5833	11,3019	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	PALEÓGENO	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-150	-70,3333	11,0778	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	S/INF	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-151	-70,3333	11,0778	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	S/INF	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-152	-70,3333	11,0778	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	S/INF	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-153	-70,3333	11,0778	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	S/INF	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-154	-69,8278	10,5583	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	S/INF	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-155	-69,9458	11,0694	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	S/INF	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-156	-69,9472	11,0750	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	S/INF	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-157	-69,5333	11,5000	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	S/INF	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-158	-69,5222	11,3236	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	PALEÓGENO	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-159	-69,5667	11,3186	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	PALEÓGENO	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-160	-69,5653	11,3292	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	PALEÓGENO	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-161	-69,5556	11,3292	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	PALEÓGENO	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT/	M-162	-69,5486	11,3292	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	PALEÓGENO	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
int-15061, NTE-01971 y INT 15102	M-163	-71,0019	9,5473	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa B4	UD IV	5157	5179
VISDOC MARACAIBO	M-164	-70,9943	9,5832	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	08/05/2008	Miosa B5	UD IV	16710	S/INF
Barreto, 2017	M-165	-62,8844	8,7881	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
Barreto, 2017	M-166	-62,8876	8,7557	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-167	-64,2661	9,1537	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	09/07/1949	O	UD IV	9320	9355
SIMDE ORIENTE	M-168	-64,4736	9,3829	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Oficina amarillo	UD IV	6220	6235
SIMDE ORIENTE	M-169	-64,4736	9,3829	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Oficina Verde	UD IV	5410	5425
SIMDE ORIENTE	M-170	-64,4736	9,3829	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Oficina amarillo	UD IV	6220	6235
SIMDE ORIENTE	M-171	-64,4369	9,4210	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Oficina Colorado	UD IV	9030	9037
SIMDE ORIENTE	M-172	-64,4369	9,4210	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Oficina Colorado	UD IV	8565	8570
PULIDO 2018	M-173	-63,1937	8,7425	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	VERT	OFICINA MIEMBRO MORICHAL	UD IV	3373	S/INF
PULIDO 2018	M-174	-63,1844	8,7322	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	VERT	OFICINA MIEMBRO MORICHAL	UD IV	3181	S/INF
PULIDO 2018	M-175	-63,1441	8,7009	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	HOR	OFICINA MIEMBRO MORICHAL	UD IV	3173	S/INF
PULIDO 2018	M-176	-63,1431	8,6973	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	HOR	OFICINA MIEMBRO MORICHAL	UD IV	3061	S/INF
VISDOC MARACAIBO	M-177	-71,9820	10,0761	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/08/1949	El Milagro y La Puerta	UD VII	485	6779
VISDOC MARACAIBO	M-178	-71,9820	10,0761	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/08/1949	El Milagro y La Puerta	UD VII	485	6779
PULIDO 2018	M-179	-63,1390	8,6743	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	HOR	OFICINA MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2818	S/INF
PULIDO 2018	M-180	-63,1400	8,6727	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	HOR	OFICINA MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2455	S/INF
PULIDO 2018	M-181	-63,1454	8,6870	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	HOR	OFICINA MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2877	S/INF
PULIDO 2018	M-182	-63,1692	8,6896	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	HOR	OFICINA MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2810	S/INF
PULIDO 2018	M-183	-63,1784	8,6764	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	HOR	OFICINA MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2486	S/INF
PULIDO 2018	M-184	-63,1881	8,6960	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	HOR	OFICINA MIEMBRO MORICHAL	UD IV	3027	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-185	-71,0508	6,9883	Geográficas	BARINAS APURE	22/06/1999	Quevedo	UD II	7752	7760
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-186	-71,0595	6,9939	Geográficas	BARINAS APURE	13/02/1986	NMORITA	UD II	7686	7695
INT 5574,98	M-187	-71,0185	7,0438	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	carbonera arena c9	UD V	7394	7406
INT 5574,98	M-188	-70,9916	7,0459	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	guafita lutita	UD VI	7416	7435
INT 5574,98	M-189	-70,9916	7,0459	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	guafita lutita	UD VI	7416	7435
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-190	-71,0255	6,9921	Geográficas	BARINAS APURE	22/06/1999	Guafita G-7	UD VI	8294	8302
INT 5574,98	M-191	-71,0296	7,0245	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	Guafita Arena G9-3	UD VI	8558	8564
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-192	-71,0388	7,0297	Geográficas	BARINAS APURE	16/11/1984	Guardulio	UD VI	7233	7236
INT 5574,98	M-193	-71,0296	7,0247	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	guardulio g-9	UD VI	8004	8018
INT 5574,98	M-194	-71,0614	7,0116	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	arauca g-9	UD V	8012	8042
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-195	-71,0408	6,9918	Geográficas	BARINAS APURE	22/06/1999	GUAFITA G9	UD VI	7708	7732
INT 5574,98	M-196	-71,0292	7,0259	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	arauca	UD V	8156	8184
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-197	-71,0499	6,9883	Geográficas	BARINAS APURE	22/06/1999	Navay	UD II	7732	7756
INT 5574,98	M-198	-71,0280	7,0197	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	GUAFITA g-9 1/2	UD VI	7724	7744
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-199	-70,9642	7,0459	Geográficas	BARINAS APURE	07/06/1985	ARENA BASAL	UD VI	7784	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-200	-70,9642	7,0459	Geográficas	BARINAS APURE	07/06/1985	NQUEVEDO	UD II	8336	S/INF

REFERENCIA	POZO CODIFICADO	X (grados decimales)	Y (grados decimales)	Proyección	CUENCA	FECHA	RESERVORIO	UNIDAD	Tope (pies)	Base (pies)
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-201	-71,0235	7,0042	Geográficas	BARINAS APURE	25/10/1985	Guardulio	UD VI	7548	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-202	-71,0235	7,0042	Geográficas	BARINAS APURE	25/10/1985	arauca	UD V	7900	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-203	-71,0235	7,0042	Geográficas	BARINAS APURE	25/10/1985	arauca	UD V	7900	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-204	-71,0235	7,0042	Geográficas	BARINAS APURE	05/12/1985	Guardulio	UD VI	7548	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-205	-71,0235	7,0042	Geográficas	BARINAS APURE	05/12/1985	arauca	UD V	7900	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-206	-71,0235	7,0042	Geográficas	BARINAS APURE	05/12/1985	arauca	UD V	7900	S/INF
INT 5574,98	M-207	-71,0709	6,9973	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	Navay	UD II	7826	7838
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-208	-70,9609	7,0552	Geográficas	BARINAS APURE	25/10/1985	Arauca	UD V	7476	S/INF
INT 5574,98	M-209	-71,0308	7,0120	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	GUAFITA g-8 1	UD VI	7352	7362
INT 5574,98	M-210	-71,0377	7,0076	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	guafita	UD VI	8148	8160
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-211	-71,0646	7,0451	Geográficas	BARINAS APURE	13/11/1985	Arauca	UD V	7532	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-212	-71,0646	7,0451	Geográficas	BARINAS APURE	13/11/1985	Arauca	UD V	7532	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-213	-71,0646	7,0451	Geográficas	BARINAS APURE	13/11/1985	Arauca	UD V	7532	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-214	-71,0646	7,0451	Geográficas	BARINAS APURE	13/11/1985	Arauca	UD V	7532	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-215	-63,8783	8,9324	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	20/08/1951	U2	UD IV	6580	6650
SIMDE ORIENTE	M-216	-64,1172	8,9918	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	01/03/1947	D4	UD IV	5490	5526
SIMDE ORIENTE	M-217	-63,9723	8,9526	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	19/07/2007	D4L	UD IV	5633	5665
PULIDO 2018	M-218	-63,2016	8,7315	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	HOR	OFICINA MIEMBRO MORICHAL	UD IV	3536	S/INF
PULIDO 2018	M-219	-63,1718	8,7417	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	VERT	OFICINA MIEMBRO MORICHAL	UD IV	3356	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-220	-64,1812	9,0081	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	05/04/1948	Oficina ARENA F8 Y NL	UD IV	7115	7130
SIMDE ORIENTE	M-221	-64,0373	8,9300	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	17/04/1947	OFICINA ARENA AB3	UD IV	5316	5331
7407	M-222	-64,2075	9,0141	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA	UD IV	4000	7000
SIMDE ORIENTE	M-223	-66,7101	9,0829	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua	UD IV	4161	4202
SIMDE ORIENTE	M-224	-66,6816	9,0756	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua	UD IV	3786	3794
SIMDE ORIENTE	M-225	-66,8659	9,1771	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua	UD IV	4470	4494
6201	M-226	-68,9407	9,3883	Geográficas	BARINAS APURE	08/03/1990	GOBERNADOR	UD IV	10400	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-227	-66,5812	9,0782	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	21/11/1957	C	UD IV	3050	3052
SIMDE ORIENTE	M-228	-64,6617	9,1385	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Oficina S14	UD IV	7176	7178
VISDOC MARACAIBO	M-229	-72,8475	9,6899	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	17/01/2000	APON (PICHE INFERIOR)	UD II	8670	8819
INT 7378	M-230	-72,8475	9,6899	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Rio Negro Agua	UD VII	9720	9906
INT 7378	M-231	-72,8475	9,6899	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	28/12/1999	Piche Lisure Maraca La Luna	UD II	7350	7985
SIMDE ORIENTE	M-232	-64,1363	8,9993	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Oficina D Inferior	UD IV	5410	5435
SIMDE ORIENTE	M-233	-64,1363	8,9993	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Oficina H3	UD IV	6204	6253
PULIDO 2018	M-234	-63,0958	8,7433	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	VERT	OFICINA MIEMBRO MORICHAL	UD IV	3085	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-235	-64,3236	8,5979	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	17/09/1979	OFICINA	UD IV	3241	3311
VISDOC MARACAIBO	M-236	-71,4195	10,3254	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	08/12/1950	Lagunillas	UD VII	661	740
SIMDE ORIENTE	M-237	-64,5708	8,9924	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	02/02/1950	UL	UD IV	6857	6867
SIMDE ORIENTE	M-238	-64,5714	8,9960	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	30/04/1984	U4	UD IV	6973	7061
SIMDE ORIENTE	M-239	-64,6956	8,9494	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	30/09/1994	Oficina J2	UD IV	3863	3869
SIMDE ORIENTE	M-240	-63,4266	9,7465	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	17/11/1943	J-20	UD IV	5432	5442
SIMDE ORIENTE	M-241	-64,5416	9,3510	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA	UD IV	501	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-330	-66,0000	8,4221	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	31/05/1948	S3	UD VIII	5300	S/INF
VISDOC MARACAIBO	M-243	-71,5675	9,9464	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	27/09/1960	Misoa Eoceno C6/7	UD IV	9205	9242
VISDOC MARACAIBO	M-244	-71,1569	9,9926	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	14/12/1947	Misoa Eoceno	UD IV	5016	5141
SIMDE ORIENTE	M-246	-64,2065	9,3258	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	01/02/1957	S-2U	UD IV	13848	13870
NT-OC-2012-165, DLS	M-247	-71,2904	10,1269	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Lagunillas	UD VII	2690	3863
NT-OC-2012-165, DLS	M-248	-71,2947	10,1169	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Lagunillas	UD VII	2885	3127
NT-OC-2012-165, DLS	M-249	-71,2809	10,1068	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Lagunillas	UD VII	2988	3252
NT-OC-2012-165, DLS	M-250	-71,3067	10,1132	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Lagunillas	UD VII	2994	3200
NT-OC-2012-165, DLS	M-251	-71,3232	10,1348	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	2760	2880
NT-OC-2012-165, DLS	M-252	-71,2885	10,1128	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	3010	3310
NT-OC-2012-165, DLS	M-253	-71,2516	10,0901	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	3052	3517
NT-OC-2012-165, DLS	M-254	-71,2743	10,1099	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	2976	3275
NT-OC-2012-165, DLS	M-255	-71,2924	10,0817	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	3178	4202
NT-OC-2012-165, DLS	M-256	-71,3433	9,9769	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	3442	4428
NT-OC-2012-165, DLS	M-257	-71,1929	9,9576	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	3262	4320
NT-OC-2012-165, DLS	M-258	-71,1929	9,9576	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	3262	4320
NT-OC-2012-165, DLS	M-259	-71,0522	9,8921	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	3463	4503
NT-OC-2012-165, DLS	M-260	-71,1667	9,8934	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	3262	4262
NT-OC-2012-165, DLS	M-261	-71,2380	9,9004	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	3998	5000
NT-OC-2012-165, DLS	M-262	-71,3038	9,8974	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	3248	4265
NT-OC-2012-165, DLS	M-263	-71,2092	9,8776	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	3115	4280
NT-OC-2012-165, DLS	M-264	-71,1704	9,8703	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	3288	4281
NT-OC-2012-165, DLS	M-265	-71,1142	9,8248	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	3197	4222
NT-OC-2012-165, DLS	M-266	-71,0308	9,7610	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	3359	4485
VISDOC MARACAIBO	M-267	-71,4708	10,2108	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	20/04/1940	Misoa B-6	UD IV	4501	4670
NT-OC-2012-165, DLS	M-268	-70,9589	9,7655	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	3250	4216
NT-OC-2012-165, DLS	M-269	-70,9589	9,7655	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	29/03/2011	Lagunillas	UD VII	2650	3110
VISDOC MARACAIBO	M-270	-71,5014	10,2070	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	23/09/1954	Misoa B-9-K	UD IV	4845	5164
VISDOC MARACAIBO	M-271	-71,4878	10,0041	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	02/08/1972	Misoa Eoceno Arena B6	UD IV	7307,99	7466
VISDOC MARACAIBO	M-272	-71,4878	10,0041	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	21/02/1972	Misoa ARENA B-6	UD IV	7307,99	7466
VISDOC MARACAIBO	M-273	-70,4537	11,1047	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	28/01/1966	PUEBLO VIEJO B6	UD IV	4465	4641
VISDOC MARACAIBO	M-274	-71,6144	9,9947	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	15/08/1962	Misoa C LOWER 4	UD IV	9671	10200
SIMDE ORIENTE	M-275	-66,0496	9,2798	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Roblecito	UD IV	5680	5690
SIMDE ORIENTE	M-276	-66,0496	9,2798	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Mercedes	UD II	6855	6875
SIMDE ORIENTE	M-277	-66,0496	9,2798	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Mercedes	UD II	6855	6885
SIMDE ORIENTE	M-278	-66,0496	9,2798	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Mercedes	UD II	6755	6765
SIMDE ORIENTE	M-279	-66,0496	9,2798	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Mercedes	UD II	6195	6200
SIMDE ORIENTE	M-280	-66,0496	9,2798	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Roblecito	UD IV	3495	3505
SIMDE ORIENTE	M-281	-66,0496	9,2798	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Roblecito	UD IV	3033	3043
SIMDE ORIENTE	M-282	-66,0496	9,2798	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Mercedes	UD II	6782	6792
SIMDE ORIENTE	M-283	-66,0496	9,2798	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Mercedes	UD II	6965	6985
SIMDE ORIENTE	M-284	-66,0496	9,2798	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Mercedes	UD II	6275	6285
VISDOC MARACAIBO	M-285	-71,6804	9,7702	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	03/04/1958	Misoa	UD IV	14140	14152
VISDOC MARACAIBO	M-286	-71,6724	9,6913	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	17/09/1991	Misoa Eoceno C20	UD IV	12820	12825
VISDOC MARACAIBO	M-287	-71,6034	9,7416	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	22/07/1998	Mioceno Eoceno C3	UD IV	12566	12572
VISDOC MARACAIBO	M-288	-71,6034	9,7416	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	22/07/1998	Mioceno Eoceno C3	UD IV	12566	12572
VISDOC MARACAIBO	M-289	-71,2581	10,1262	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	PAUJI	UD IV	3074	3481
VISDOC MARACAIBO	M-290	-71,2757	10,2155	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	01/07/1985	LAGUNILLAS LLU2 A LLD2	UD VII	1990	2150
VISDOC MARACAIBO	M-291	-71,4495	9,7134	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	20/09/1958	Misoa Eoceno C2	UD IV	12141	S/INF
VISDOC MARACAIBO	M-292	-71,3656	10,2763	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	07/08/1975	Lagunillas y La Rosa	UD VII	1790	2044
SIMDE ORIENTE	M-293	-64,1502	9,7423	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	15/09/1950	MERECURE J2	UD IV	2530	2555
VISDOC MARACAIBO	M-294	-69,7253	11,6970	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	07/08/1973	SOCORRO	UD VIII	7109	7124
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-295	-71,4158	7,1170	Geográficas	BARINAS APURE	15/12/2000	S/INF	UD II	9559	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-296	-71,4158	7,0649	Geográficas	BARINAS APURE	27/03/1985	S/INF	UD II	9976	9988
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-297	-71,4158	7,0649	Geográficas	BARINAS APURE	27/03/1985	NAVAY	UD II	9682	9698
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-298	-71,4158	7,0649	Geográficas	BARINAS APURE	27/03/1985	ESCANDALOSA	UD II	9810	9820
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-299	-71,4158	7,0649	Geográficas	BARINAS APURE	27/03/1985	ESCANDALOSA	UD II	9929	9935
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-300	-71,4158	7,0649	Geográficas	BARINAS APURE	07/06/1985	S/INF	UD II	9329	9339

REFERENCIA	POZO CODIFICADO	X (grados decimales)	Y (grados decimales)	Proyección	CUENCA	FECHA	RESERVORIO	UNIDAD	Tope (pies)	Base (pies)
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-301	-71,4153	7,1163	Geográficas	BARINAS APURE	30/08/1985	S/INF	UD II	9008	9016
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-302	-71,4351	7,0658	Geográficas	BARINAS APURE	14/02/1985	S/INF	UD VI	9802	9808
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-303	-71,4351	7,0658	Geográficas	BARINAS APURE	12/02/1985	S/INF	UD VI	9802	9808
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-304	-71,4351	7,0658	Geográficas	BARINAS APURE	12/02/1985	S/INF	UD VI	9802	9808
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-305	-71,4351	7,0658	Geográficas	BARINAS APURE	14/02/1985	S/INF	UD VI	9507	9516
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-306	-71,4351	7,0658	Geográficas	BARINAS APURE	14/02/1985	S/INF	UD VI	9507	9516
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-307	-71,4351	7,0658	Geográficas	BARINAS APURE	14/02/1985	S/INF	UD VI	9507	9516
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-308	-71,4351	7,0658	Geográficas	BARINAS APURE	14/02/1985	S/INF	UD VI	9507	9516
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-309	-71,4351	7,0658	Geográficas	BARINAS APURE	14/02/1985	S/INF	UD VI	9602	9608
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-310	-71,4351	7,0658	Geográficas	BARINAS APURE	25/04/1988	ESCANDALOSA	UD II	13194	13196
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-311	-71,4351	7,0658	Geográficas	BARINAS APURE	02/05/1988	ESCANDALOSA	UD II	13194	13196
000576	M-312	-66,4139	8,7123	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	TIGRE	UD II	3654	3664
SIMDE ORIENTE	M-313	-66,4139	8,7123	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua	UD IV	2810	2854
000576	M-314	-66,1146	8,5943	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	TIGRE	UD II	3658	3680
000576	M-315	-66,5266	8,6308	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	TIGRE	UD II	3180	3210
SIMDE ORIENTE	M-331	-66,0000	8,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	TIGRE	UD II	3113	3135
000576	M-317	-66,5266	8,6308	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	TIGRE	UD II	3180	3210
000576	M-318	-66,4141	8,6963	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	ROBLECITO	UD IV	2610	2630
SIMDE ORIENTE	M-319	-66,5082	8,6160	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	1610	1650
SIMDE ORIENTE	M-320	-66,5082	8,6160	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Tigre	UD II	3028	3048
000576	M-321	-66,5256	8,6031	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA	UD IV	2670	2684
000576	M-322	-66,5256	8,6031	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA	UD IV	2636	2654
000576	M-323	-66,5256	8,6031	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	TIGRE	UD II	2710	2750
SIMDE ORIENTE	M-324	-66,3252	8,4986	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Tigre	UD II	2558	2583
000576	M-325	-65,8054	8,4833	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	ROBLECITO	UD IV	1766	1794
SIMDE ORIENTE	M-326	-64,0766	9,2219	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	01/11/1955	S-5	UD IV	11889	11895
000576 Y SIMDE ORIENTE	M-327	-66,0000	8,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	ROBLECITO	UD IV	2290	2324
000576 Y SIMDE ORIENTE	M-328	-66,0000	8,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	CHAGUARAMAS	UD IV	2192	2206
000576 Y SIMDE ORIENTE	M-329	-66,0000	8,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	ROBLECITO	UD IV	2300	2312
Lopez, 2018	M-354	-63,0943	8,7449	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Roblecito	UD IV	2300	2312
Lopez, 2018	M-356	-63,1400	8,6727	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Roblecito	UD IV	2300	2312
000576	M-332	-66,0000	8,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	ROBLECITO	UD IV	2093	2103
000576	M-333	-66,0000	8,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	ROBLECITO	UD IV	1970	1998
SIMDE ORIENTE	M-334	-63,8358	9,1304	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	01/12/1968	S-1	UD IV	10383	10395
000576	M-335	-65,9488	8,3737	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	TIGRE	UD II	1892	1902
000576	M-336	-65,9507	8,4560	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	TIGRE	UD II	2208	2230
000576	M-337	-66,0000	8,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	CHAGUARAMAS	UD IV	1378	1408
000576	M-338	-65,7485	8,3261	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	TIGRE	UD II	2100	2180
SIMDE ORIENTE	M-339	-65,6889	8,1608	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	812	813
SIMDE ORIENTE	M-340	-63,7812	9,1723	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	01/03/1969	F6-7	UD IV	9680	9685
SIMDE ORIENTE	M-341	-63,7199	9,1356	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	16/08/1956	R2	UD IV	10668	10674
SIMDE ORIENTE	M-342	-64,1357	9,1960	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	01/06/1957	M2	UD IV	11400	11406
SIMDE ORIENTE	M-343	-63,9373	9,1630	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	20/09/1957	M3	UD IV	10395	10401
Lopez, 2018	M-344	-63,1784	8,6764	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-345	-63,1454	8,6870	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-346	-63,1881	8,6960	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-347	-63,1441	8,7009	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-348	-63,1390	8,6743	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-349	-63,1692	8,6896	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-350	-63,1893	8,7456	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-351	-63,1701	8,7434	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-352	-63,1845	8,7337	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-353	-63,2008	8,7220	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-358	-63,1697	8,7422	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-355	-63,1431	8,6973	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-360	-63,1824	8,7336	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
SIMDE ORIENTE	M-357	-63,9764	9,2251	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	15/01/1959	M4	UD IV	11300	11306
Lopez, 2018	M-361	-63,1711	8,7428	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-359	-63,1824	8,7336	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2400	3600
Lopez, 2018	M-362	-63,1855	8,7133	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-363	-63,1827	8,7329	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-364	-63,1535	8,7205	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-365	-63,1535	8,7205	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-369	-63,1765	8,7487	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-370	-63,1598	8,7247	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
SIMDE ORIENTE	M-366	-64,1536	9,1408	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	21/10/1958	OL2	UD IV	9300	9306
Lopez, 2018	M-367	-63,1833	8,7344	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-368	-63,1704	8,7326	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-371	-63,1572	8,6977	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-372	-63,1759	8,7480	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
000802	M-474	-66,4710	9,1931	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
000802	M-479	-66,4300	9,1760	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
Lopez, 2018	M-373	-63,2038	8,7481	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2400	3600
Lopez, 2018	M-374	-63,1259	8,6811	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MIEMBRO MORICHAL	UD IV	2987	3707
SIMDE ORIENTE	M-375	-63,9312	9,2135	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	19/01/1959	U3	UD IV	12140	12146
SIMDE ORIENTE	M-376	-63,7005	9,1582	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	31/03/1970	S4	UD IV	10834	10839
SIMDE ORIENTE	M-377	-63,9337	9,1951	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	08/05/1952	OFICINA	UD IV	11324	11338
SIMDE ORIENTE	M-378	-63,8160	9,1577	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	13/03/1969	R0b	UD IV	10658	10664
SIMDE ORIENTE	M-379	-64,0880	9,2157	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	01/04/1952	MERECURE	UD IV	12110	12134
SIMDE ORIENTE	M-380	-64,1196	9,1664	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	01/12/1955	U1L o R4	UD IV	10945	10960
SIMDE ORIENTE	M-381	-63,7862	9,1252	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	01/03/1957	OL	UD IV	9810	9816
SIMDE ORIENTE	M-382	-63,8151	9,2038	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	12/03/1955	Oficina m2	UD IV	10939	10951
000802	M-481	-66,4679	9,1814	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	NEOGENO	UDIV o U	SUPERFICIE	S/INF
Ponton, 2018	M-384	-65,1084	10,0702	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	NEOGENO	UDIV o U	SUPERFICIE	S/INF
Ponton, 2018	M-385	-65,0936	10,0674	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	NEOGENO	UDIV o U	SUPERFICIE	S/INF
Ponton, 2018	M-386	-65,0898	10,0519	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	NEOGENO	UDIV o U	SUPERFICIE	S/INF
Ponton, 2018	M-387	-65,0847	10,0611	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	NEOGENO	UDIV o U	SUPERFICIE	S/INF
Ponton, 2018	M-388	-65,0756	10,0645	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	NEOGENO	UDIV o U	SUPERFICIE	S/INF
Ponton, 2018	M-389	-65,0743	10,0551	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	NEOGENO	UDIV o U	SUPERFICIE	S/INF
000802	M-482	-66,2011	9,2829	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	NEOGENO	UDIV o U	SUPERFICIE	S/INF
000802	M-483	-66,4329	9,1601	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	NEOGENO	UDIV o U	SUPERFICIE	S/INF
000802	M-493	-66,3544	9,2060	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	NEOGENO	UDIV o U	SUPERFICIE	S/INF
000802	M-500	-66,3260	9,2034	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	NEOGENO	UDIV o U	SUPERFICIE	S/INF
Ponton, 2018	M-394	-65,1238	10,0724	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	NEOGENO	UDIV o U	SUPERFICIE	S/INF
000802	M-503	-66,3818	9,1925	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	NEOGENO	UDIV o U	SUPERFICIE	S/INF
Ponton, 2018	M-396	-65,1169	10,0538	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	NEOGENO	UDIV o U	SUPERFICIE	S/INF
Ponton, 2018	M-397	-65,1055	10,0535	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	NEOGENO	UDIV o U	SUPERFICIE	S/INF
VISDOC MARACAIBO	M-398	-70,2595	11,2347	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	01/11/1953	URUMACO	UD VIII	3240	3263
Montero y Martínez, 2014	M-399	-72,2821	7,9140	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Carbonera	UD V	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-400	-71,9228	10,1708	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VII	80	S/INF
Vegas, 2016	M-401	-71,9086	10,1753	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VII	108	S/INF

REFERENCIA	POZO CODIFICADO	X (grados decimales)	Y (grados decimales)	Proyección	CUENCA	FECHA	RESERVORIO	UNIDAD	Tope (pies)	Base (pies)
Vegas, 2016	M-402	-71,9442	10,1903	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VII	100	S/INF
Vegas, 2016	M-403	-72,3233	10,3117	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-404	-72,3644	10,315	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	LOS RANCHOS	UD VII	97	S/INF
Vegas, 2016	M-405	-72,3567	10,315	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	LOS RANCHOS	UD VII	88	S/INF
Vegas, 2016	M-406	-72,2853	10,3164	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VII	14	S/INF
Vegas, 2016	M-407	-72,3267	10,3211	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	LOS RANCHOS	UD VII	80	S/INF
Vegas, 2016	M-408	-72,2639	10,3242	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VII	120	S/INF
Vegas, 2016	M-409	-71,9489	10,3269	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-410	-72,2847	10,3289	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VII	110	S/INF
Vegas, 2016	M-411	-72,3922	10,3292	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	LOS RANCHOS	UD VII	105	S/INF
Vegas, 2016	M-412	-72,4281	10,3397	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	LOS RANCHOS	UD VII	30	S/INF
Vegas, 2016	M-413	-72,2392	10,3478	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VII	120	S/INF
Vegas, 2016	M-414	-72,4433	10,3481	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	LOS RANCHOS	UD VII	20	S/INF
Vegas, 2016	M-415	-72,0167	10,3667	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-416	-72,4664	10,3642	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	LOS RANCHOS	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-417	-72,0117	10,3572	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-418	-72,1172	10,3669	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-419	-72,1000	10,3833	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-420	-72,1389	10,385	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-421	-72,2772	10,3744	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	LOS RANCHOS	UD VII	100	S/INF
Vegas, 2016	M-422	-72,1306	10,3939	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-423	-72,2000	10,35	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-424	-72,2167	10,3667	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-425	-72,2000	10,3667	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-426	-72,2667	10,35	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-427	-72,3000	10,35	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	LOS RANCHOS	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-428	-72,1978	10,3853	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VII	90	S/INF
Vegas, 2016	M-429	-72,3167	10,3833	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	LOS RANCHOS	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-430	-72,2808	10,3883	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	LOS RANCHOS	UD VII	100	S/INF
Vegas, 2016	M-431	-72,3333	10,4	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	LOS RANCHOS	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-432	-72,0372	10,4022	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	156	S/INF
Vegas, 2016	M-433	-72,3333	10,4167	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	LOS RANCHOS	UD VII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-434	-72,1833	10,4167	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-435	-72,1667	10,4167	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-436	-72,0172	10,4108	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	125	S/INF
Vegas, 2016	M-437	-72,0833	10,4122	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	100	S/INF
Vegas, 2016	M-438	-72,2283	10,4125	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-439	-72,0369	10,4153	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	150	S/INF
Vegas, 2016	M-440	-72,2103	10,4172	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	141	S/INF
Vegas, 2016	M-441	-72,0797	10,4208	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	160	S/INF
Vegas, 2016	M-442	-72,0922	10,4339	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	100	S/INF
Vegas, 2016	M-443	-72,0236	10,4406	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	130	S/INF
Vegas, 2016	M-444	-72,1256	10,4433	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	150	S/INF
Vegas, 2016	M-445	-72,1356	10,4436	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	180	S/INF
Vegas, 2016	M-446	-72,0919	10,4536	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	180	S/INF
Vegas, 2016	M-447	-72,1247	10,4592	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	140	S/INF
Vegas, 2016	M-448	-72,0667	10,4825	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	90	S/INF
Vegas, 2016	M-449	-72,0775	10,5392	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	108	S/INF
Vegas, 2016	M-450	-72,2131	10,5567	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	140	S/INF
Vegas, 2016	M-451	-72,3614	10,5569	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	LOS RANCHOS	UD VII	12	S/INF
Vegas, 2016	M-452	-72,0794	10,5581	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	100	S/INF
Vegas, 2016	M-453	-72,2194	10,5661	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	170	S/INF
Vegas, 2016	M-454	-72,1597	10,5728	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	135	S/INF
Vegas, 2016	M-455	-72,1500	10,5833	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	79	S/INF
Vegas, 2016	M-456	-72,0797	10,5856	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	72	S/INF
Vegas, 2016	M-457	-72,3061	10,5875	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	GRUPO COGOLLO	UD II	16	S/INF
Vegas, 2016	M-458	-72,3742	10,5886	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	GRUPO COGOLLO	UD II	125	S/INF
Vegas, 2016	M-459	-72,2494	10,5889	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	60	S/INF
Vegas, 2016	M-460	-72,3781	10,5928	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	18	S/INF
Vegas, 2016	M-461	-72,2519	10,5958	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	EL MILAGRO	UD VIII	117	S/INF
Vegas, 2016	M-462	-72,3575	10,5986	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	GRUPO COGOLLO	UD II	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-463	-72,2692	10,6142	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	LOS RANCHOS	UD VII	120	S/INF
Vegas, 2016	M-464	-72,1653	10,4333	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-465	-72,4214	10,6186	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	GRUPO COGOLLO	UD II	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-466	-72,3417	10,6392	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	GRUPO COGOLLO	UD II	18	S/INF
Vegas, 2016	M-467	-72,1500	10,4833	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-468	-72,0667	10,5167	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-469	-72,1397	10,5206	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-470	-72,2708	10,5361	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-471	-72,2222	10,5861	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-472	-72,1333	10,45	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/05/1905	EL MILAGRO	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
Vegas, 2016	M-473	-72,4011	10,615	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	26/06/1905	GRUPO COGOLLO	UD II	12	S/INF
000802	M-507	-66,3068	9,2006	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	ROBLECITO ARENA C	UD IV	4321	4326
000802	M-475	-66,3875	9,1951	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA A SAND- M-4	UD IV	4290	4300
000802	M-476	-66,3875	9,1951	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA A SAND- M-4	UD IV	4331	4352
000802	M-477	-66,3875	9,1951	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA A SAND- M-4	UD IV	4337	4342
000802	M-478	-66,4470	9,1651	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	ROBLECITO ARENA C	UD IV	4495	4505
000802	M-509	-66,4442	9,1679	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	M-8 BLOCK BB SAND	UD IV	3711	3718
000802	M-480	-66,4679	9,1814	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena D	UD IV	4313	4324
000802	M-510	-66,3130	9,2008	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena D	UD IV	4337	4344
000802	M-511	-66,3147	9,2023	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA D SAND	UD IV	5055	5060
000802	M-518	-66,2815	9,2079	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	roblecito	UD IV	3700	3705
000802	M-484	-66,4329	9,1601	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	la pascua arena a, bb yc	UD IV	4205	4214
000802	M-485	-66,1991	9,2440	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA K	UD IV	5860	5870
000802	M-486	-66,1991	9,2440	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA K	UD IV	6250	6260
000802	M-487	-66,1991	9,2440	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA K	UD IV	6255	6260
000802	M-488	-66,4300	9,1815	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	la pascua arena a, bb yc	UD IV	4258	4277
000802	M-489	-66,4300	9,1815	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	la pascua arena a, bb yc	UD IV	4258	4286
000802	M-490	-66,4706	9,1767	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA D SAND	UD IV	4517	4567
000802	M-491	-66,4706	9,1767	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA N CALIZA	UD IV	5016	5043
000802	M-492	-66,4706	9,1767	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA OPQ SANDS	UD II	5058	5093
000802	M-521	-66,4348	9,2004	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA ARENA C	UD IV	4509	4520
000802	M-494	-66,3728	9,1953	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA D2	UD IV	4353	4304
000802	M-495	-66,4471	9,1511	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA E	UD IV	4266	4270
000802	M-496	-66,3450	9,1978	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA FF SAND	UD IV	4798	4819
000802	M-497	-66,3450	9,1978	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA FF O G SAND	UD IV	4712	4758
000802	M-498	-66,3450	9,1978	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA FF O G SAND	UD IV	4825	4865
000802	M-499	-66,4436	9,1553	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA D Y E	UD IV	4257	4260
000802	M-524	-66,4064	9,2059	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA A	UD IV	4454	4463
000802	M-501	-66,3098	9,2018	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA A	UD IV	4304	4310

REFERENCIA	POZO CODIFICADO	X (grados decimales)	Y (grados decimales)	Proyección	CUENCA	FECHA	RESERVORIO	UNIDAD	Tope (pies)	Base (pies)
000802	M-502	-66,3706	9,1908	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA O CRETACICO	UD II	5167	5182
000802	M-525	-66,2065	9,2722	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	ROBLECITO	UD IV	4075	4079
000802	M-504	-66,4383	9,1969	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua R Sand	UD IV	5470	5486
000802	M-505	-66,4383	9,1969	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua T Sand	UD IV	5816	5854
000802	M-506	-66,4545	9,1505	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas/roblecito	UD IV	3718	3722
000802	M-527	-66,2141	9,1722	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua C inferior	UD IV	4023	4026
000802	M-508	-66,4442	9,1679	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Roblecito	UD IV	3705	3711
000802	M-537	-66,4333	9,2606	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA ARENA C	UD IV	4237	4247
000802	M-544	-66,3609	9,2587	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua	UD IV	4031	4034
000802	M-546	-66,4881	9,1795	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Roblecito	UD IV	4019	4022
000802	M-512	-66,3147	9,2023	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua A	UD IV	4304	4310
000802	M-513	-66,4581	9,2358	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La pascua A	UD IV	4492	4596
000802	M-514	-66,4581	9,2358	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascual F	UD IV	4902	4910
000802	M-515	-66,4581	9,2358	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Cretácico	UD II	5491	5654
000802	M-516	-66,4581	9,2358	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Cretácico	UD II	5702	5734
000802	M-517	-66,2815	9,2079	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	la pascua arena a	UD IV	4385	4394
000802	M-549	-66,4480	9,2609	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA Pascua BB	UD IV	4419	4422
000802	M-519	-66,3037	9,2044	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena R	UD IV	5615	5709
000802	M-520	-66,4348	9,2004	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena C	UD IV	4433	4440
000802	M-556	-66,4936	9,2382	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena C	UD IV	4444	4457
000802	M-522	-66,3006	9,2054	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena A	UD IV	4375	4385
000802	M-523	-66,4064	9,2059	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua	UD IV	4308	4318
000802	M-558	-66,3828	9,2005	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua	UD IV	4365	4370
000802	M-561	-66,4004	9,2517	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 82	UD IV	2963	2973
000802	M-526	-66,2065	9,2722	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena F	UD IV	5178	5206
000802	M-562	-66,4004	9,2517	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Roblecito	UD IV	2859	2878
000802	M-528	-66,4377	9,2594	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena F	UD IV	5028	5045
000802	M-529	-66,4377	9,2594	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena F5	UD IV	5126	5133
000802	M-530	-66,4377	9,2594	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena F5	UD IV	5156	5160
000802	M-531	-66,4377	9,2594	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena F5	UD IV	5217	5229
000802	M-532	-66,2781	9,2083	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Cretácico S1	UD II	5666	5721
000802	M-533	-66,2874	9,2056	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua S1 Sand	UD IV	5836	5840
000802	M-534	-66,4305	9,2329	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena F	UD IV	4945	4958
000802	M-535	-66,2524	9,2226	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	chaguaramas	UD IV	4862	4897
000802	M-536	-66,2524	9,2226	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Cretácico OPQ Arenas	UD II	5723	5772
000802	M-564	-66,3859	9,2014	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena A	UD IV	4735	4793
000802	M-538	-66,3256	9,1977	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA Pascua	UD IV	3198	3223
000802	M-539	-66,3012	9,2085	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Las Pascua Arena A	UD IV	4386	4389
000802	M-540	-66,5198	9,1244	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Cretácico Arena N	UD II	4557	4601
000802	M-541	-66,3988	9,2664	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua arnea F	UD IV	5250	5262
000802	M-542	-66,3988	9,2664	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Cretácico	UD II	5687	5695
000802	M-543	-66,4428	9,1488	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua F Sand	UD IV	4385	4391
000802	M-566	-66,4218	9,2056	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena F	UD IV	5132	5156
000802	M-545	-66,1958	9,2565	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena F	UD IV	5126	5155
000802	M-567	-66,4332	9,1760	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena D	UD IV	4385	4391
000802	M-547	-66,1758	9,2588	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La pascua Arena F	UD IV	5398	5422
000802	M-548	-66,4765	9,2837	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Cretácico Arena T	UD II	6253	6350
000802	M-568	-66,4348	9,1733	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Roblecito Y La Pascua Arena A	UD IV	4210	5215
000802	M-550	-66,4480	9,2609	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	CRETÁCICO ARENA R	UD II	5885	5920
000802	M-551	-66,2851	9,2921	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 69	UD IV	1823	1831
000802	M-552	-66,2851	9,2921	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La pascua Arena D	UD IV	5136	5150
000802	M-553	-66,2851	9,2921	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Cretácico Arena R	UD II	6141	6152
000802	M-554	-66,3174	9,2681	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena F-3	UD IV	5075	5080
000802	M-555	-66,3117	9,2101	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Roblecito	UD IV	3996	4020
000802	M-569	-66,4656	9,1927	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena G	UD IV	4948	4980
000802	M-557	-66,3593	9,2623	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena Basal	UD IV	5303	5318
SIMDE ORIENTE	M-570	-63,7261	8,7482	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua BB	UD IV	4414	4446
000802	M-559	-66,4347	9,1679	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena A	UD IV	4100	4109
000802	M-560	-66,4776	9,2507	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	L Pascua Arena F-5	UD IV	5004	5024
006459	M-594	-64,0000	8,6770	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena G	UD IV	5365	5373
SIMDE ORIENTE	M-605	-63,7019	8,7644	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena G	UD IV	5398	5402
000802	M-563	-66,4496	9,1612	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Cretácico OPQ Arenas	UD II	5069	5080
SIMDE ORIENTE	M-613	-64,1842	8,4966	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Terciario Basal	UD IV	4824	4838
000802	M-565	-66,3422	9,1963	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	la pascua	UD IV	4503	4511
006459	M-614	-64,0000	8,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena A	UD IV	4401	4405
SIMDE ORIENTE	M-652	-64,0360	8,8044	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Roblecito	UD IV	3704	3708
SIMDE ORIENTE	M-660	-64,0307	9,0718	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La pascua Arena C	UD IV	4272	4282
Barreto, 2017	M-669	-62,9356	8,7484	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua Arena C	UD IV	4327	4332
Barreto, 2017	M-672	-62,8876	8,7526	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	14/07/2014	N1,2 y U9 Oficina y Merecure	UD IV	4230	4970
Barreto, 2017	M-571	-62,9218	8,7813	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-572	-64,0000	9,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Oficina S3,4	UD IV	3522	3602
006459	M-573	-64,0000	8,6705	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA T	UD IV	4190	4240
006459	M-574	-64,0000	8,6704	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA T INFERIOR	UD IV	4019	4021
006459	M-575	-64,0000	8,6781	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA R4 SUPERIOR	UD IV	3905	4110
006459	M-576	-64,0000	8,6166	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	U-2	UD IV	3430	3570
006459	M-577	-64,0000	8,5812	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA N2	UD IV	3060	3135
006459	M-578	-64,0000	8,6652	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA R1	UD IV	3487	3496
006459	M-579	-64,0000	8,6560	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA R4U	UD IV	3430	3467
006459	M-580	-64,0000	8,5655	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA R0	UD IV	2955	2967
006459	M-581	-64,0000	8,6713	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA T	UD IV	3985	4027
006459	M-582	-64,0000	8,5468	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA F4	UD IV	2888	2979
006459	M-583	-64,0000	8,6590	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICIINA R4	UD IV	3520	3530
006459	M-584	-64,0000	8,5623	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA U1	UD IV	3111	3123
006459	M-585	-64,0000	8,6546	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA S3	UD IV	3554	3574
SIMDE ORIENTE	M-586	-64,0100	8,6759	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	27/06/1980	oficina L4	UD IV	3379	3387
006459	M-587	-64,0000	8,6877	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	U-2	UD IV	3766	3857
006459	M-588	-64,0000	8,6781	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MERECURE U3	UD IV	4172	4190
006459	M-589	-64,0000	8,5686	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA L4	UD IV	2836	S/INF
006459	M-590	-64,0000	8,6353	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA U1	UD IV	3666	3676
006459	M-591	-64,0000	8,6759	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA P2	UD IV	3682	3692
006459	M-592	-64,0663	8,6723	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA U1	UD IV	4028	4038
006459	M-593	-64,0000	8,6770	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA J1	UD IV	3166	3178
Barreto, 2017	M-673	-62,8837	8,7532	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA L1	UD IV	3276	3324
006459	M-595	-64,0000	8,6827	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA U1	UD IV	4125	4130
006459	M-596	-64,0000	8,6835	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MERECURE U2	UD IV	4110	4130
006459	M-597	-64,0000	8,6905	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MERECURE U2	UD IV	4184	4200
006459	M-598	-64,0000	8,6963	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MERECURE U2	UD IV	4268	4276
006459	M-599	-64,0000	8,6118	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MERECURE U2	UD IV	3756	3899
006459	M-600	-64,0000	8,6680	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA K	UD IV	3180	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-601	-63,9821	8,6783	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	28/01/2016	M1 MS 806	UD IV	3660	3715

REFERENCIA	POZO CODIFICADO	X (grados decimales)	Y (grados decimales)	Proyección	CUENCA	FECHA	RESERVORIO	UNIDAD	Tope (pies)	Base (pies)
006459	M-602	-64,0000	8,6705	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA F3	UD IV	3340	S/INF
006459	M-603	-64,0000	8,6744	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA A-E	UD IV	2260	3082
006459	M-604	-64,0000	8,6744	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA	UD IV	4084	4174
Barreto, 2017	M-675	-62,8837	8,7532	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	28/10/2010	OFICINA U2L	UD IV	4744	4762
006459	M-606	-63,0000	8,6823	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA P3	UD IV	3558	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-607	-64,2934	8,4355	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	08/07/1905	Oficina	UD IV	1700	S/INF
006459	M-608	-64,0000	8,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA	UD IV	2449	2469
006459	M-609	-64,0000	8,4750	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA	UD IV	2420	2430
006459	M-610	-64,0000	8,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA	UD IV	2385	2420
006459	M-611	-64,3341	8,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA	UD IV	1808	1818
006459	M-612	-64,0000	8,5027	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA	UD IV	2744	2750
Barreto, 2017	M-678	-62,9370	8,7150	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	23/06/1980	OFICINA R2	UD IV	2660	2670
SIMDE ORIENTE	M-695	-66,6356	9,0716	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA	UD IV	2560	2575
006459	M-615	-64,0000	9,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFCINA M1	UD IV	2510	2530
006459	M-616	-64,0000	9,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA U2	UD IV	2910	2922
006459	M-617	-64,0000	8,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA R3	UD IV	1601	1623
006459	M-618	-64,0000	8,3424	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA K, L0	UD IV	1632	1648
006459	M-619	-64,0000	8,2760	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA R3 S	UD IV	1700	1800
SIMDE ORIENTE	M-620	-64,2244	8,2413	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	15/04/1980	OFICINA	UD IV	1446	1476
006459	M-621	-64,0000	8,2413	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA O1	UD IV	1446	1476
006459	M-622	-64,0000	8,2568	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA R1	UD IV	1546	1588
006459	M-623	-64,0000	8,2958	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA R3	UD IV	1730	1810
SIMDE ORIENTE	M-624	-64,1980	8,1885	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	09/04/1980	OFICINA	UD IV	1420	1442
006459	M-625	-64,0000	8,1885	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA O1,2	UD IV	1420	1442
006459	M-626	-64,0000	8,1583	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	ARENA F0	UD IV	740	750
SIMDE ORIENTE	M-627	-63,9121	8,2152	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	31/01/1985	E1,3	UD IV	1170	1180
SIMDE ORIENTE	M-628	-63,9040	9,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	T	UD IV	4928	5030
SIMDE ORIENTE	M-629	-63,8973	8,7981	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	17/12/1936	OFICINA	UD IV	5222	5614
VISDOC MARACAIBO	M-630	-70,9189	9,8234	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	18/01/1982	Isnotu	UD VII	350	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-631	-64,0301	8,7199	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	26/07/1979	Oficina U1-T	UD IV	4331	4418
SIMDE ORIENTE	M-632	-64,0676	8,7002	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	M4-N1	UD IV	3832	3882
VISDOC MARACAIBO	M-633	-70,9286	9,6793	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	13/01/1958	Misoa b3	UD IV	11480	S/INF
VISDOC MARACAIBO	M-634	-70,9286	9,6793	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	13/01/1958	Misoa B3	UD IV	11600	S/INF
VISDOC MARACAIBO	M-635	-70,9286	9,6793	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	07/01/1958	Misoa B3	UD IV	11060	11665
SIMDE ORIENTE	M-636	-66,0000	10,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	ROBLECITO	UD IV	10667	10680
SIMDE ORIENTE	M-637	-66,0000	10,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	ROBLECITO	UD IV	6736	6750
SIMDE ORIENTE	M-638	-66,2789	9,7204	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	ROBLECITO	UD IV	6736	6750
SIMDE ORIENTE	M-639	-66,0000	10,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	C-49	UD IV	3650	3700
Montero y Martínez, 2014	M-640	-72,2763	7,9190	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Carbonera	UD V	SUPERFICIE	S/INF
Montero y Martínez, 2014	M-641	-72,2746	7,9343	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Carbonera	UD V	SUPERFICIE	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-642	-70,2595	11,2347	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	11/11/1953	URUMACO	UD VIII	3240	3263
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-643	-70,2484	11,2330	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Socorro	UD VIII	5000	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-644	-70,2667	11,2402	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	18/07/1955	Socorro	UD VIII	5560	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-645	-70,2664	11,2353	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	01/10/1953	Socorro	UD VIII	6025	S/INF
000576	M-646	-70,0000	8,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA	UD IV	2174	2230
000576	M-647	-69,6115	8,1087	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA	UD IV	2254	2296
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-648	-63,0246	8,8546	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	22/10/1956	Cerro pelado	UD VIII	3150	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-649	-63,0246	8,8546	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	22/10/1956	Cerro pelado	UD VIII	1600	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-650	-63,0246	8,8546	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	01/10/1956	Cerro pelado	UD VIII	3672	S/INF
VISDOC MARACAIBO	M-651	-70,8458	9,6783	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	06/03/1996	Pauji B-6	UD IV	8342	8423
SIMDE ORIENTE	M-715	-67,0000	9,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	08/05/2007	J1	UD IV	4335	4364
SIMDE ORIENTE	M-653	-64,1357	9,2249	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	30/05/1956	R2U	UD IV	11187	11193
SIMDE ORIENTE	M-654	-64,2874	9,0883	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	13/04/1953	OL-2	UD IV	7965	7971
SIMDE ORIENTE	M-655	-63,9014	9,1390	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	08/01/1953	U2	UD IV	10650	10657
SIMDE ORIENTE	M-656	-64,1987	9,0806	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	01/10/1947	MU	UD IV	7864	7891
SIMDE ORIENTE	M-657	-64,2738	9,0423	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	25/11/1980	ARENA B3	UD IV	5259	5330
SIMDE ORIENTE	M-658	-64,0005	9,1107	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	07/10/2010	L2U	UD IV	8944	8980
SIMDE ORIENTE	M-659	-64,1851	9,0816	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	11/02/1947	OFICINA	UD IV	7666	7676
SIMDE ORIENTE	M-721	-64,3595	8,9977	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	09/06/1970	R4L	UD IV	9296	9329
7270	M-661	-64,3042	8,9546	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MESA	UD VIII	406	S/INF
7270	M-662	-64,3042	8,9546	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MESA	UD VIII	406	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-663	-64,2497	8,7942	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	24/08/1981	L1L	UD IV	4148	4205
SIMDE ORIENTE	M-664	-64,3852	8,9384	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	08/02/1984	OFICINA / 12U	UD IV	6572	6621
SIMDE ORIENTE	M-665	-63,6353	9,3185	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	26/09/1986	R4U	UD IV	14332	14346
SIMDE ORIENTE	M-666	-63,6755	9,4221	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	02/02/1988	ME-A2	UD IV	17660	17672
SIMDE ORIENTE	M-667	-63,2771	9,8750	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	17/07/2000	San Juan	UD II	16140	16329
7407	M-668	-64,2952	8,8416	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA	UD IV	2941	5519
SIMDE ORIENTE	M-737	-65,1954	8,9386	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2623	3050
Barreto, 2017	M-670	-62,8864	8,7317	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2740	3210
SIMDE ORIENTE	M-754	-64,6678	9,2107	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	22/06/1953	Ramillete	UD IV	5950	6300
00766	M-759	-65,9581	9,0627	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2604	2690
Barreto, 2017	M-674	-62,8837	8,7532	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2740	3210
00766	M-763	-65,9574	9,0455	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2740	3210
Barreto, 2017	M-676	-62,9151	8,7164	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2740	3210
Barreto, 2017	M-677	-62,9399	8,6954	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2604	2690
00766	M-766	-65,9846	9,0449	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2604	2690
Barreto, 2017	M-679	-62,9370	8,7150	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2604	2690
Barreto, 2017	M-680	-62,9413	8,7032	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2604	2690
Barreto, 2017	M-681	-62,9413	8,7032	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2400	3600
Barreto, 2017	M-682	-62,9475	8,6923	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2604	2690
Barreto, 2017	M-683	-62,9379	8,7000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2604	2690
Barreto, 2017	M-684	-62,9379	8,7142	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2604	2690
Barreto, 2017	M-685	-62,9379	8,7142	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2604	2690
Barreto, 2017	M-686	-62,9116	8,7094	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2604	2690
Barreto, 2017	M-687	-62,9116	8,7094	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2400	3600
Barreto, 2017	M-688	-62,9409	8,7045	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2604	2690
Barreto, 2017	M-689	-62,9261	8,6859	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2604	2690
SIMDE ORIENTE	M-690	-66,4960	9,0403	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA-MORICHAL	UD IV	2604	2690
VISDOC MARACAIBO	M-671	-71,9971	10,6944	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	30/12/1952	Roblecito R-178	UD IV	1870	1940
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-691	-70,1174	8,2280	Geográficas	BARINAS APURE	16/05/1974	S/INF	UD II	8602	8607
SIMDE ORIENTE	M-692	-63,9852	9,4452	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	04/07/1988	I4	UD IV	16005	16097
SIMDE ORIENTE	M-693	-64,2374	8,9531	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	CHAGUARAMAS	UD IV	4505	4902
SIMDE ORIENTE	M-694	-63,6750	9,6669	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	06/12/1997	NARICUAL	UD IV	17140	17140
00766	M-774	-65,9827	9,0738	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	16/05/1955	B3-B4	UD IV	3526	3534
VOLCÁN, 2015	M-696	-62,8720	8,7587	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LAS PIEDRAS	UD VIII	0	2400
MAR-03082	M-697	-71,4864	10,7332	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa EOC5/7	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
MAR-03082	M-698	-71,4947	10,6745	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa EOC5/7	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
MAR-03082	M-699	-71,4632	10,7161	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa EOC5/7	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
MAR-03082	M-700	-71,4702	10,7030	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa EOC5/7	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
MAR-03082	M-701	-71,4873	10,7010	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa EOC5/7	UD IV	SUPERFICIE	S/INF

REFERENCIA	POZO CODIFICADO	X (grados decimales)	Y (grados decimales)	Proyección	CUENCA	FECHA	RESERVORIO	UNIDAD	Tope (pies)	Base (pies)
MAR-03082	M-702	-71,4701	10,6897	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa EOC5/7	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
MAR-03082	M-703	-71,4721	10,6769	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa EOC5/7	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
MAR-03082	M-704	-71,4469	10,7163	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa EOC5/7	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
7270	M-705	-64,1800	8,9784	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LAS PIEDRAS	UD VIII	635	S/INF
7270	M-706	-64,1800	8,9784	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LAS PIEDRAS	UD VIII	635	S/INF
7270	M-707	-64,1800	8,9784	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LAS PIEDRAS	UD VIII	605	S/INF
7270	M-708	-64,1800	8,9784	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LAS PIEDRAS	UD VIII	605	S/INF
7270	M-709	-64,1800	8,9784	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LAS PIEDRAS	UD VIII	586	S/INF
7270	M-710	-64,1800	8,9784	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LAS PIEDRAS	UD VIII	586	S/INF
7270	M-711	-64,1800	8,9784	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LAS PIEDRAS	UD VIII	574	S/INF
7270	M-712	-64,1800	8,9784	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LAS PIEDRAS	UD VIII	574	S/INF
7270	M-713	-64,1800	8,9784	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LAS PIEDRAS	UD VIII	600	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-714	-62,2331	9,9438	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	28/07/1949	Paria	UD VIII	1030	1158
00766	M-777	-65,9542	9,0757	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA	UD IV	4354	4364
SIMDE ORIENTE	M-716	-67,0000	9,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA	UD IV	4354	4364
SIMDE ORIENTE	M-717	-67,0000	9,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LA PASCUA	UD IV	4923	4960
SIMDE ORIENTE	M-718	-66,6580	9,2242	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua	UD IV	4250	4435
SIMDE ORIENTE	M-719	-67,0000	9,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua	UD IV	4250	4435
SIMDE ORIENTE	M-720	-67,0000	9,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	ROBLECITO	UD IV	3959	3965
00766	M-779	-65,9376	9,0671	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	11/11/1949	U2 LOW	UD IV	7322	7338
SIMDE ORIENTE	M-722	-64,4112	9,8487	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	11/02/1950	OFICINA	UD IV	8380	8440
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-723	-70,9869	10,9765	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	GRUPO COGOLLO	UD II	12504	14373
VISDOC MARACAIBO	M-724	-71,0391	10,4727	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	23/06/1951	La Rosa	UD VII	2237	2262
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-725	-71,0112	10,4417	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	10/12/1951	santiago	UD VIII	300	928,99
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-726	-71,0112	10,4417	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	06/10/1951	castillo	UD IV	1478	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-727	-71,0112	10,4417	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	20/12/1951	LA ROSA	UD VIII	1515	1530
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-728	-71,0112	10,4417	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	23/09/1954	Castillo	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-729	-71,0261	10,4627	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	30/10/1951	Castillo	UD VIII	1140	1150
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-730	-71,0261	10,4627	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	23/10/1981	Castillo	UD VIII	1140	1150
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-731	-71,0261	10,4627	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	23/10/1951	Castillo	UD VIII	1140	1150
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-732	-71,0261	10,4627	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	20/11/1951	Castillo	UD VIII	1140	1150
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-733	-71,0261	10,4627	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	20/11/1951	Castillo	UD VIII	1140	1150
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-734	-71,0261	10,4627	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	30/10/1951	Castillo	UD VIII	1140	1150
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENT	M-735	-71,0261	10,4627	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	28/01/1952	castillo	UD IV	1140	S/INF
VISDOC MARACAIBO	M-736	-71,4572	10,3838	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	19/08/1936	APÓN lgi	UD IV	2567	S/INF
00766	M-780	-65,9357	9,0592	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	10/01/1952	MERECURE	UD IV	4872	4890
SIMDE ORIENTE	M-738	-64,3313	9,4986	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	01/04/1936	OFICINA	UD IV	5100	S/INF
INT-8106	M-739	-64,4028	9,4578	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MEL-106	UD IV	9752	9766
INT-8106	M-740	-64,3821	9,5217	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	COEF-14	UD IV	11170	11180
INT-8106	M-741	-64,3632	9,4803	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MEO-118	UD IV	10706	10716
INT-8106	M-742	-64,3576	9,5305	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	COCURM5	UD IV	10717	10727
INT-8106	M-743	-64,3669	9,4815	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MEJ1U-39	UD IV	10112	10126
INT-8106	M-744	-64,3867	9,4644	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	SAN JUAN SJA-134	UD II	10375	10550
INT-8106	M-745	-64,4016	9,4755	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MEM1M9	UD IV	9649	9658
INT-8106	M-746	-64,4050	9,4647	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MES2,3-112	UD IV	10418	10438
SIMDE ORIENTE	M-747	-64,3334	9,6503	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	02/12/1982	Oficina COE	UD IV	11624	11638
INT-8106	M-748	-64,3996	9,4640	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MEJ1L-10	UD IV	9104	9152
INT-8106	M-749	-64,3923	9,4842	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MES2,3-112	UD IV	10354	10366
INT-8106	M-750	-64,3843	9,4881	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MEJ1U-154	UD IV	9892	9928
INT-8106	M-751	-64,3904	9,4646	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MEJ1U-39	UD IV	9016	9072
int-15031	M-752	-63,1177	8,9233	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Las piedras	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
VOLCÁN, 2015	M-753	-63,1177	8,9233	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	LAS PIEDRAS	UD VIII	SUPERFICIE	S/INF
00766	M-781	-65,9491	9,0436	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	25/09/1942	MERECURE	UD IV	9600	S/INF
INT-8106	M-755	-64,3534	9,5381	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	COB2-58	UD IV	11326	11338
SIMDE ORIENTE	M-756	-64,5567	9,4347	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	21/03/1983	CON1 Y CON2	UD IV	9960	10018
00766	M-757	-65,9450	9,0601	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 26	UD IV	1906	1912
00766	M-758	-65,9450	9,0601	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 30l	UD IV	2762	2767
00766	M-782	-65,9802	9,0309	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua P3	UD IV	4498	4506
00766	M-760	-65,9741	9,0608	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	chaguaramas 33s	UD IV	2934	2946
00766	M-761	-65,9885	9,0528	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua P8-9	UD IV	4505	4515
00766	M-762	-65,9712	9,0500	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Roblecito	UD IV	4493,6	4513,28
00766	M-790	-65,9590	9,0500	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Pascua P7	UD IV	4483	4487
00766	M-764	-65,9562	9,0391	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua P8	UD IV	4557	4563
00766	M-765	-65,9792	9,0395	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua P7	UD IV	4486	4489
SIMDE ORIENTE	M-827	-65,0987	8,8143	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua P2	UD IV	4431	4434
00766	M-767	-65,9846	9,0512	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua P-8	UD IV	4516	4519
00766	M-768	-65,9789	9,0598	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 29	UD IV	2886	2892
00766	M-769	-65,9789	9,0598	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Roblecito R9	UD IV	4443	4446
00766	M-770	-65,9789	9,0598	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua P1	UD IV	4475	4478
00766	M-771	-65,9843	9,0649	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La pascua P7	UD IV	4564	4570
00766	M-772	-65,9667	9,0328	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chauguaramas 27S	UD IV	2440	2450
00766	M-773	-65,9827	9,0738	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 27M	UD IV	2533	2544
SIMDE ORIENTE	M-941	-65,0000	9,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua P6	UD IV	4463	4469
00766	M-775	-65,9619	9,0757	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 33S	UD IV	3003	3009
00766	M-776	-65,9542	9,0757	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 33S	UD IV	3003	3007
SIMDE ORIENTE	M-943	-65,0000	9,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua P3	UD IV	4472	4475
00766	M-778	-65,9542	9,0757	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La pascua P4	UD IV	4488	4500
SIMDE ORIENTE	M-988	-63,8594	9,1278	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua	UD IV	7906	7913
SIMDE ORIENTE	M-51	-63,6544	9,6558	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas o La Pascua	UD IV	0	4552
SIMDE ORIENTE	M-242	-63,5299	9,6967	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Roblecito R9	UD IV	4415	4418
Ponton, 2018	M-383	-65,1570	10,0781	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua P2	UD IV	4382	4385
00766	M-783	-65,9872	9,0372	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	1580	1582
00766	M-784	-65,9558	9,0430	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	1780	1787
00766	M-785	-65,9558	9,0430	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	1842	1848
00766	M-786	-65,9667	9,0550	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 32S	UD IV	2905	2908
00766	M-787	-65,9667	9,0550	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 33S	UD IV	2945	2963
00766	M-788	-65,9590	9,0500	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	SUPERFICIE	S/INF
SIMDE ORIENTE	M-789	-66,0000	9,0000	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 87/87A	UD IV	2514	2524
Ponton, 2018	M-390	-65,1586	10,0765	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	La Pascua P7	UD IV	4459	4466
SIMDE ORIENTE	M-791	-64,4317	9,5307	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	22/05/1958	OFICINA	UD IV	10246	11088
SIMDE ORIENTE	M-792	-64,2768	9,6049	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	MERECURE	UD IV	15230	15275
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-793	-70,0030	8,2990	Geográficas	BARINAS APURE	15/11/2001	GOBERNADOR	UD IV	8894	8906
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-794	-69,9999	8,2921	Geográficas	BARINAS APURE	15/11/2001	GOBERNADOR	UD IV	8840	8858
SIMDE ORIENTE	M-795	-70,6147	7,9839	Geográficas	BARINAS APURE	14/04/1959	AGUARDIENTE	UD II	14003	S/INF
VISDOC MARACAIBO	M-796	-71,6906	10,6624	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	20/03/1938	Misoa Ramillete	UD IV	1500	S/INF
00767	M-797	-65,7842	9,2245	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	3396	3401
00767	M-798	-65,8209	9,2723	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 25	UD IV	1070	1090
00767	M-799	-65,8209	9,2723	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 25	UD IV	1126	1131
00767	M-800	-65,8209	9,2723	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 25	UD IV	1206	1215
00767	M-801	-65,7999	9,2043	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	632	660

REFERENCIA	POZO CODIFICADO	X (grados decimales)	Y (grados decimales)	Proyección	CUENCA	FECHA	RESERVORIO	UNIDAD	Tope (pies)	Base (pies)
00767	M-802	-65,8229	9,1877	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 10	UD IV	2196	2202
00767	M-803	-65,8229	9,1877	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	1809	1815
00767	M-804	-65,8205	9,1888	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 15	UD IV	2508	2518
00767	M-805	-65,8415	9,1412	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 16	UD IV	1994	2000
00767	M-806	-65,8402	9,1388	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 17	UD IV	2926	2930
00767	M-807	-65,8420	9,0999	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 19	UD IV	3106	3110
00767	M-808	-65,8378	9,1109	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 16	UD IV	2706	2726
00767	M-809	-65,8409	9,1109	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 16	UD IV	2659	2671
00767	M-810	-65,8452	9,1181	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	chaguaramas 16	UD IV	2360	2381
00767	M-811	-65,8507	9,1182	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	1465	1470
00767	M-812	-65,8507	9,1182	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 14	UD IV	2188	2194
00767	M-813	-65,8507	9,1182	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	chaguaramas 17	UD IV	2575	2581
00767	M-814	-65,8380	9,0975	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	855	860
00767	M-815	-65,8380	9,0975	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	855	860
00767	M-816	-65,8673	9,1208	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Roblecito	UD IV	3525	3521
00767	M-817	-65,8471	9,1592	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	2631	2637
00767	M-818	-65,8418	9,1384	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	chaguaramas	UD IV	1803	1809
00767	M-819	-65,8418	9,1384	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	chaguaramas	UD IV	1838	1841
00767	M-820	-65,8418	9,1384	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	chaguaramas	UD IV	2637	2641
00767	M-821	-65,8356	9,1592	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	2114	2120
00767	M-822	-65,8356	9,1592	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	2325	2329
00767	M-823	-65,8453	9,1513	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	4326	4338
00767	M-824	-65,8408	9,1464	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	1336	1408
00767	M-825	-65,8296	9,1471	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas 62A	UD IV	2811	2814
00767	M-826	-65,8226	9,1610	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	Chaguaramas	UD IV	3709	3923
Ponton, 2018	M-391	-65,1535	10,0718	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	05/01/1986	Merecure U7	UD IV	6282	6397
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-828	-70,0908	8,4069	Geográficas	BARINAS APURE	08/11/1957	ESCANDALOSA P1	UD II	10394	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-829	-70,0908	8,4069	Geográficas	BARINAS APURE	08/11/1957	ESCANDALOSA P1	UD II	10434	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-830	-70,0908	8,4069	Geográficas	BARINAS APURE	08/11/1957	ESCANDALOSA P1	UD II	10406	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-831	-70,0908	8,4069	Geográficas	BARINAS APURE	14/05/1958	ESCANDALOSA P1	UD II	10400	10410
SIMDE ORIENTE	M-832	-64,3724	9,2404	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	04/12/1953	S3-L	UD IV	10932	10937
SIMDE ORIENTE	M-833	-64,3454	9,0778	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	04/11/2005	P2	UD IV	7905	7926
7407	M-834	-64,4207	9,1793	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA	UD IV	4857	9665
7407	M-835	-64,4207	9,1793	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	OFICINA	UD IV	4857	9665
SIMDE ORIENTE	M-915	-64,1757	8,9870	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	15/11/2001	GOBERNADOR	UD IV	8898	8902
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-836	-70,1135	8,3062	Geográficas	BARINAS APURE	05/04/2000	Escandalosa P	UD II	9068	9074
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-837	-70,1135	8,3062	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	Escandalosa P 2	UD II	9179	9189
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-838	-70,1086	8,3038	Geográficas	BARINAS APURE	27/11/2001	GOBERNADOR D	UD IV	8964	8990
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-839	-70,1193	8,3101	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	Escandalosa P	UD II	9113	9133
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-840	-70,1248	8,3110	Geográficas	BARINAS APURE	S/INF	Escandalosa P	UD II	9113	9133
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-841	-70,1248	8,3110	Geográficas	BARINAS APURE	05/04/2000	Escandalosa P	UD II	9007	9027
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-842	-70,1050	8,3078	Geográficas	BARINAS APURE	23/01/2002	ESCANDALOSA P1	UD II	9007	9027
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-843	-70,1050	8,3078	Geográficas	BARINAS APURE	10/05/1966	QUEVEDO ARENA J	UD II	8718	8770
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-844	-70,0568	8,3118	Geográficas	BARINAS APURE	10/05/1966	GOBERNADOR ARENA B1	UD IV	8564	8574
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-845	-70,0728	8,2914	Geográficas	BARINAS APURE	10/04/1967	ESCANDALOSA O SIN 15	UD II	8414	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-846	-70,0563	8,2801	Geográficas	BARINAS APURE	10/04/1967	ESCANDALOSA O SIN 15	UD II	8414	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-847	-70,0563	8,2801	Geográficas	BARINAS APURE	23/04/1990	Misoa Eoceno	UD IV	13515	13535
VISDOC MARACAIBO	M-848	-71,6451	9,5751	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	20/08/1993	Misoa SLB-K51	UD IV	15220	18625
VISDOC MARACAIBO	M-849	-71,7110	9,4305	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	04/07/1980	LISURE Y MARACA	UD II	18757	18777
VISDOC MARACAIBO	M-850	-71,6021	9,4375	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	25/09/1989	Misoa Eoceno C-2	UD IV	12571	13325
VISDOC MARACAIBO	M-851	-71,6511	9,8318	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	10/11/1959	Misoa Eoceno C-2	UD IV	12810	13000
VISDOC MARACAIBO	M-852	-71,6511	9,8318	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa Eoceno C-2	UD IV	12810	13000
VISDOC MARACAIBO	M-853	-71,6511	9,8318	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa Eoceno C-2	UD IV	12810	13000
VISDOC MARACAIBO	M-854	-71,6511	9,8318	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa Eoceno C-3	UD IV	13380	13486
VISDOC MARACAIBO	M-855	-71,6511	9,8318	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	Misoa Eoceno C-3	UD IV	13380	13486
VISDOC MARACAIBO	M-856	-71,6511	9,8318	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	OFICINA	UD IV	9475	10463
7407	M-857	-64,2713	9,1905	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	24/06/1960	R1	UD IV	10254	10340
SIMDE ORIENTE	M-858	-64,3098	9,2244	Geográficas	ORIENTAL DE VENEZUELA	19/09/1957	S/INF	UD II	9991	9999
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-859	-70,0559	8,4411	Geográficas	BARINAS APURE	08/12/1992	ESCANDALOSA O	UD II	10368	10378
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-860	-70,0407	8,4366	Geográficas	BARINAS APURE	27/11/2001	ESCANDALOSA O	UD II	10250	10260-10286
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-861	-69,9856	8,4247	Geográficas	BARINAS APURE	15/11/2001	ESCANDALOSA	UD II	10360	10370-10392
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-862	-70,0395	8,4415	Geográficas	BARINAS APURE	16/01/1992	S/INF	UD II	14578	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-863	-71,6585	7,1623	Geográficas	BARINAS APURE	16/01/1992	S/INF	UD II	14578	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-864	-71,6585	7,1623	Geográficas	BARINAS APURE	16/01/1992	S/INF	UD II	14836	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-865	-71,6585	7,1623	Geográficas	BARINAS APURE	16/01/1992	S/INF	UD II	14836	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-866	-71,6585	7,1623	Geográficas	BARINAS APURE	10/02/1950	S/INF	UD IV	10197	10202
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-867	-70,1211	8,4550	Geográficas	BARINAS APURE	11/07/1950	S/INF	UD IV	10197	10202
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-868	-70,1211	8,4550	Geográficas	BARINAS APURE	11/07/1950	S/INF	UD IV	10197	10202
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-869	-70,1211	8,4550	Geográficas	BARINAS APURE	13/07/1950	S/INF	UD IV	10197	10202
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-870	-70,1211	8,4550	Geográficas	BARINAS APURE	13/07/1950	S/INF	UD IV	10197	10202
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-871	-70,1211	8,4550	Geográficas	BARINAS APURE	19/07/1950	S/INF	UD IV	10712	10804
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-872	-70,1211	8,4550	Geográficas	BARINAS APURE	13/11/1963	ESCANDALOSA P1	UD II	10536	10544
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-873	-70,1176	8,4457	Geográficas	BARINAS APURE	07/01/1964	ESCANDALOSA P1	UD II	10536	10544-10565
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-874	-70,1176	8,4457	Geográficas	BARINAS APURE	03/03/1958	ESCANDALOSA P1	UD II	10536	10544-10565
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-875	-70,1176	8,4457	Geográficas	BARINAS APURE	03/11/1963	ESCANDALOSA P2	UD II	10573	10593
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-876	-70,0938	8,4411	Geográficas	BARINAS APURE	15/11/2001	ESCANDALOSA P1/2	UD II	10465	10475
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-877	-70,0983	8,4398	Geográficas	BARINAS APURE	08/11/1981	MARACA	UD II	16620	16644
VISDOC MARACAIBO	M-878	-71,8406	9,9176	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	10/10/1952	Pueblo Viejo Zulia SST	UD IV	3653	3696
VISDOC MARACAIBO	M-879	-71,6960	10,5346	Geográficas	MARACAIBO FALCÓN	21/02/1946	S/INF	UD II	9965	9985
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-880	-70,0248	8,4360	Geográficas	BARINAS APURE	21/02/1946	S/INF	UD II	9965	9985
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-881	-70,0248	8,4360	Geográficas	BARINAS APURE	03/03/1966	S/INF	UD IV	9570	9585
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-882	-70,0248	8,4360	Geográficas	BARINAS APURE	03/03/1996	S/INF	UD II	9760	9780
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-883	-70,0248	8,4360	Geográficas	BARINAS APURE	26/02/1946	S/INF	UD II	9865	9880
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-884	-70,0248	8,4360	Geográficas	BARINAS APURE	17/05/1956	ESCANDALOSA P	UD II	9655	9677
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-885	-70,0845	8,3773	Geográficas	BARINAS APURE	03/10/1956	FORTUNA SUPERIOR	UD II	9658	9678
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-886	-70,0845	8,3773	Geográficas	BARINAS APURE	28/03/1957	FORTUNA SUPERIOR	UD II	9820	9835
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-887	-70,0242	8,3556	Geográficas	BARINAS APURE	05/09/1961	ESCANDALOSA P1	UD II	9386	9412-9440
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-888	-70,0680	8,3661	Geográficas	BARINAS APURE	06/09/1961	ESCANDALOSA P1	UD II	2000	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-889	-70,0680	8,3661	Geográficas	BARINAS APURE	09/09/1961	ESCANDALOSA P1	UD II	2000	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-890	-70,0680	8,3661	Geográficas	BARINAS APURE	31/03/1957	S/INF	UD IV	8740	8750
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-891	-70,0544	8,3449	Geográficas	BARINAS APURE	31/03/1957	S/INF	UD IV	8740	8750
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-892	-70,0544	8,3449	Geográficas	BARINAS APURE	12/06/1957	ESCANDALOSA P2	UD II	9885	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-893	-70,0137	8,3454	Geográficas	BARINAS APURE	13/06/1957	BURGUITA H	UD II	9145	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-894	-70,0137	8,3454	Geográficas	BARINAS APURE	13/06/1957	ESCANDALOSA P1	UD II	9760	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-895	-70,0137	8,3454	Geográficas	BARINAS APURE	13/06/1957	ESCANDALOSA P1	UD II	9790	S/INF
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-896	-70,0137	8,3454	Geográficas	BARINAS APURE	24/06/1957	BURGUITA H	UD II	9140	9150
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-897	-70,0137	8,3454	Geográficas	BARINAS APURE	23/07/1957	FORTUNA SUPERIOR	UD II	9746	9769
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-898	-70,0137	8,3454	Geográficas	BARINAS APURE	22/01/1970	ESCANDALOSA P1	UD II	9399	9439
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-899	-70,0480	8,3498	Geográficas	BARINAS APURE	15/11/2001	GOBERNADOR MASPARRITO	UD IV	9006	9016
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	M-900	-70,0225	8,3519	Geográficas	BARINAS APURE	21/12/1959	ESCANDALOSA P1	UD II	9683	9704

ANEXO B. DATOS VÁLIDOS DE LOS ELEMENTOS MAYORITARIOS Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS UTILIZADA EN LA INVESTIGACIÓN

REFERENCIA	FECHA	POZO CODIFICADO	CUENCA	pH	SDT (PPM)	K+ (mEQ/L)	Mg2+ (mEQ/L)	Na+ (mEQ/L)	Ca2+ (mEQ/L)	SO4 -- (mEQ/L)	Cl - (mEQ/L)	CO3-- (mEQ/L)	HCO3- (mEQ/L)	% BALANCE IÓNICO	CONDUCTIVIDAD (µohms/cm)	ALCALINIDAD TOTAL (mg/L CaCO3)	facies hidrogeoquímica
SIMDE ORIENTE	24/09/1986	M-2	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,6	15258,2	0,00	1,00	250,72	2,00	0,00	200,04	30,00	23,76	-0,02	26041	2350	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
SIMDE SUR 2 CORELAB	27/11/2001	M-3	BARINAS APURE	8,1	849	1,97	0,16	7,87	1,10	1,50	6,91	0,17	4,02	-6,27	S/INF	S/INF	clorurada_sódica DULCES
SIMDE ORIENTE	29/03/1971	M-4	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	4810	0,00	0,99	60,24	3,99	0,92	21,80	2,50	40,01	0,00	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	16/08/2001	M-5	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,9	18098,6	0,00	4,00	300,09	4,99	0,00	297,61	6,67	4,92	-0,02	43485	500	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	19/10/1990	M-6	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,13	11659	0,00	1,97	172,60	1,10	0,00	99,99	16,66	59,00	0,00	22000	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	12/09/1986	M-7	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	15132,2	0,00	1,00	242,89	2,20	0,00	200,04	13,33	32,78	-0,01	24000	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
VISDOC MARACAIBO	27/12/1958	M-8	MARACAIBO FALCÓN	5,8	110,1	0,00	0,12	1,02	0,30	0,00	0,31	0,00	1,12	0,10	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
VISDOC MARACAIBO	05/11/1984	M-10	MARACAIBO FALCÓN	5,4	4165	0,00	0,82	66,55	0,60	12,49	53,68	0,00	1,80	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	05/08/1982	M-11	MARACAIBO FALCÓN	5,6	51487	0,00	73,98	246,15	603,72	1,85	920,09	0,00	2,00	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_cálcica SALMUERAS
VISDOC MARACAIBO	04/02/1982	M-12	MARACAIBO FALCÓN	7,3	9555	0,00	1,97	140,85	15,97	0,81	145,01	0,00	13,00	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
SIMDE ORIENTE	17/10/1986	M-13	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	54678	0,00	1,97	892,14	32,94	6,79	900,01	0,00	20,49	-0,01	71,429	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	20/10/1977	M-14	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	15905	0,00	1,56	254,42	4,39	0,10	230,05	2,00	28,32	-0,02	23500	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	02/02/1961	M-15	BARINAS APURE	7,7	1014	0,00	0,49	11,22	2,69	6,85	10,35	0,00	0,00	-8,83	S/INF	S/INF	CLORURADA + SULFATADA SÓDICA SALOBRE
int-15031	S/INF	M-16	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	8,85	0,01	0,02	0,11	0,01	0,02	0,12	0,00	0,00	2,64	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies muy diluida con SDT bajo
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-17	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,56	204328	0,00	13,99	3449,94	19,96	6,14	3500,69	0,00	0,66	-0,34	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	04/04/1986	M-18	ORIENTAL DE VENEZUELA	5,9	2588	0,00	2,96	6,70	34,93	0,00	40,00	0,00	4,59	0,01	4348	S/INF	Facies clorurada_cálcica SALOBRES
VISDOC MARACAIBO	S/INF	M-19	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1426	0,00	0,49	17,44	0,50	5,16	0,28	0,80	11,91	0,75	S/INF	436	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	10/11/1959	M-22	MARACAIBO FALCÓN	6,6	3576	0,00	7,98	50,37	2,00	7,99	50,77	0,00	1,59	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
SIMDE ORIENTE	21/06/1955	M-24	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,5	21958	0,00	2,96	354,64	16,22	2,87	352,35	0,00	13,34	0,71	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies connata con posible filtración
VISDOC MARACAIBO	27/12/1958	M-25	MARACAIBO FALCÓN	7,3	116351	0,00	59,99	1690,97	259,49	3,96	1999,83	0,00	7,49	-0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
VISDOC MARACAIBO	07/09/1984	M-26	MARACAIBO FALCÓN	6,03	58186,938	0,00	131,36	480,84	425,73	6,98	1032,35	0,00	1,14	-0,12	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	04/04/1990	M-28	ORIENTAL DE VENEZUELA	9,72	25456,98	0,00	19,75	299,99	119,77	18,47	406,94	8,00	6,00	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
VISDOC MARACAIBO	17/06/1982	M-29	MARACAIBO FALCÓN	7,94	9411	0,00	2,47	144,59	3,79	7,81	121,99	0,00	20,99	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	24/05/1982	M-30	MARACAIBO FALCÓN	8,2	6073	0,00	1,20	93,61	1,32	0,65	74,89	2,00	18,59	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	12/07/1982	M-31	MARACAIBO FALCÓN	11,38	52917	0,00	5,02	757,30	154,70	6,50	901,19	2,80	0,00	0,36	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Dulce con Alta SDT
SIMDE SUR 2 LABINCA	30/08/1985	M-32	BARINAS APURE	7,6	2207,5	0,00	1,20	30,31	0,80	12,49	12,41	0,00	7,21	0,31	S/INF	S/INF	SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 LABINCA	30/08/1985	M-33	BARINAS APURE	7,8	2278,7	0,00	1,20	31,67	0,80	12,49	12,97	0,00	7,54	1,00	S/INF	S/INF	CLORURADA + SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE ORIENTE	24/02/1981	M-34	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,7	1398,55	0,00	2,06	14,12	5,54	0,00	14,10	0,80	6,79	0,06	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	21/04/1947	M-35	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,6	17602	0,00	11,85	260,59	29,59	1,21	294,76	0,00	6,00	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	23/04/1947	M-36	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,5	19368	0,00	12,26	286,82	33,63	0,87	326,07	0,00	5,72	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
VISDOC MARACAIBO	09/05/1947	M-37	MARACAIBO FALCÓN	8,5	9196	0,00	10,45	133,41	14,02	0,33	152,31	0,40	4,80	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-38	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,75	28305	0,00	27,57	431,11	20,56	0,37	453,08	0,00	25,67	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	08/06/1953	M-39	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,3	2486	0,00	0,00	28,71	8,48	1,46	23,41	1,60	11,60	-1,17	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	18/05/1953	M-40	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,6	1262	0,00	0,58	12,70	4,59	0,21	8,46	0,00	9,19	0,01	S/INF	976	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
INT 5064,1998	S/INF	M-46	BARINAS APURE	S/INF	6856	44,58	5,27	17,09	13,27	0,83	61,21	0,33	35,56	-9,95	S/INF	S/INF	CLORURADA POTÁSICA DILUIDA SALOBRE
SIMDE SUR 2 CORELAB	21/01/2002	M-50	BARINAS APURE	8,1	428,6	1,41	0,13	3,70	1,10	0,83	3,10	0,17	1,80	3,50	S/INF	S/INF	clorurada_sódica DULCES
SIMDE ORIENTE	01/03/1948	M-51	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	27039	0,00	14,40	419,75	22,11	3,33	431,02	0,00	21,80	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
VISDOC MARACAIBO	23/09/1960	M-52	MARACAIBO FALCÓN	8,5	7118	0,00	0,66	96,65	0,15	2,14	29,67	8,80	56,80	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
SIMDE ORIENTE	08/03/1991	M-53	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,55	17674,17	0,00	1,43	289,33	3,39	1,95	272,97	0,00	19,10	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	10/12/1952	M-58	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,3	13237	0,00	0,82	186,56	2,10	3,37	100,13	2,00	83,98	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
VISDOC MARACAIBO	05/08/1982	M-59	MARACAIBO FALCÓN	6,3	103174	0,00	0,00	622,41	1201,81	3,33	1819,31	0,00	2,00	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_cálcica SALMUERAS
SIMDE ORIENTE	12/05/1957	M-60	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,35	9395	0,00	0,82	138,50	1,00	17,11	84,31	0,00	38,84	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
VISDOC MARACAIBO	17/09/1982	M-61	MARACAIBO FALCÓN	7,34	81342	0,00	9,05	1364,61	9,98	35,91	1331,76	0,00	11,80	0,15	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	04/01/1983	M-62	MARACAIBO FALCÓN	8,3	20493	0,00	2,39	342,37	1,20	5,83	328,43	2,00	9,59	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	30/03/1933	M-63	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	10611	0,00	0,91	165,51	0,85	0,00	129,83	1,53	34,89	0,30	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Dulce con Alta SDT
SIMDE ORIENTE	29/03/1958	M-64	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,3	27443	0,00	17,63	414,69	26,83	0,11	428,74	0,00	31,99	-0,18	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-65	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,12	4411	0,00	18,19	42,67	2,64	8,33	12,97	6,40	34,48	1,05	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-66	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,8	6573	0,00	0,49	91,43	1,15	2,71	39,15	6,40	44,77	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-69	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	34117	28,65	12,51	485,78	51,30	1,21	571,55	0,00	5,38	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	17/04/2013	M-70	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	17919,1	0,00	1,96	297,51	2,00	0,00	280,37	0,00	17,63	0,58	22900	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
7270	S/INF	M-71	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	64	0,00	0,08	0,70	0,10	0,00	0,31	0,00	0,56	0,61	S/INF	26	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
7270	S/INF	M-72	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,5	51,2	0,00	0,08	0,57	0,16	0,11	0,40	0,00	0,24	4,62	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies muy diluida con SDT bajo
7270	S/INF	M-73	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	53	0,00	0,08	0,57	0,05	0,00	0,20	0,00	0,51	-0,56	S/INF	12	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
7270	S/INF	M-74	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,5	61,8	0,00	0,08	0,71	0,16	0,17	0,40	0,00	0,31	3,94	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies muy diluida con SDT bajo
SIMDE SUR 2 CORELAB	S/INF	M-75	BARINAS APURE	7,6	4534,31	0,00	5,92	58,08	3,99	25,06	26,00	0,00	15,11	1,37	S/INF	S/INF	CLORURADA + SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 CORELAB	S/INF	M-76	BARINAS APURE	6,8	1404,71	0,00	1,97	17,61	1,50	9,36	7,00	0,00	4,07	1,59	S/INF	S/INF	SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE ORIENTE	23/09/1942	M-77	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	31840	0,00	169,18	390,35	16,97	2,23	569,77	0,00	2,67	0,16	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	30/01/1989	M-78	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,81	14159	0,00	0,00	237,58	2,20	0,00	229,97	3,33	6,56	-0,02	27000	500	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
VISDOC MARACAIBO	20/06/1947	M-79	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	671	0,00	1,23	5,39	2,69	2,75	2,20	0,00	4,39	-0,10	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica Influenciadas
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-80	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,45	11041	0,00	6,01	134,84	43,91	0,00	171,72	0,00	14,75	-0,46	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-81	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,4	9740	0,00	6,01	143,67	9,98	0,00	140,02	0,00	19,67	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-82	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,54	8662	0,00	6,91	123,66	13,97	0,00	120,02	0,00	19,67	1,71	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-83	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,96	9738	0,00	4,03	137,67	17,96	0,00	140,02	0,00	19,67	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-84	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,51	358369	0,00	0,00	1012,84	5389,49	0,00	6401,26	0,00	2,29	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_cálcica SALMUERAS
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-85	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,77	15795	0,00	38,02	160,03	79,84	0,00	270,05	0,00	7,87	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-86	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,3	353784	0,00	0,00	1313,02	4990,27	0,00	6301,24	0,00	3,28	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_cálcica SALMUERAS
SIMDE ORIENTE	14/01/1998	M-87	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,6	16865	4,50	9,05	252,29	17,17	0,50	267,14	0,17	15,32	-0,02	29014	767	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
int-15061 y INT 15102	S/INF	M-88	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	6579,2	2,33	7,32	96,39	1,65	1,25	109,30	0,33	3,36	-2,95	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
int-15061 NTE-01971 y INT 15102	S/INF	M-89	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	6419,3	4,22	2,63	99,39	3,64	1,44	103,07	2,10	1,28	0,92	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
SIMDE ORIENTE	11/12/1947	M-90	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	15011	0,00	2,22	231,54	5,39	2,60	194,34	0,00	41,60	0,13	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
7270	S/INF	M-91	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,2	72,1	0,00	0,08	0,85	0,16	0,17	0,73	0,00	0,24	-2,05	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies muy diluida con SDT bajo
7270	S/INF	M-92	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,6	57,9	0,00	0,08	0,79	0,08	0,17	0,42	0,00	0,24	7,31	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies muy diluida con SDT bajo
SIMDE ORIENTE	04/03/1950	M-93	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,3	10909	0,00	0,08	164,81	0,80	10,66	108,31	3,20	43,51	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
VOLCÁN, 2015	S/INF	M-94	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	2081,21	0,28	0,08	23,88	0,27	0,16	3,47	0,00	22,68	-3,54	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
VOLCÁN, 2015 Y int-15031	S/INF	M-95	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	22802,65	5,95	13,63	353,46	4,27	7,91	303,64	0,00	49,95	2,14	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies connata con posible filtración
VOLCÁN, 2015 Y int-15031	S/INF	M-96	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	6387,5	2,76	6,34	101,09	1,40	8,49	85,61	0,00	6,68	5,09	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
int-15031	S/INF	M-97	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	11395,5	2,58	5,18	161,86	5,24	1,84	115,22	0,00	52,97	1,40	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
VOLCÁN, 2015 Y int-15031	S/INF	M-98	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	14907,94	2,98	10,91	200,48	8,68	0,10	179,25	0,00	57,62	-3,03	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
VOLCÁN, 2015 Y int-15031	S/INF	M-99	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	11177,32	3,63	6,50	183,86	9,03	0,11	142,24	0,00	24,58	9,76	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
VOLCÁN, 2015 Y int-15031	S/INF	M-100	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	15334,8	4,02	7,90	207,44	9,53	0,22	173,75	0,00	64,75	-2,10	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
VOLCÁN, 2015 Y int-15031	S/INF	M-101	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	8489,1	2,52	4,33	114,79	5,64	0,10	76,92	0,00	46,77	1,39	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Connata muy diluida
VOLCÁN, 2015 Y int-15031	S/INF	M-102	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	9258,82	2,99	4,03	113,22	3,99	0,20	77,23	0,00	60,02	-5,05	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Connata muy diluida
VOLCÁN, 2015	S/INF	M-103	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	27674	5,53	12,82	365,47	16,56	7,91	423,57	0,00	51,97	-9,40	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
int-15031	S/INF	M-105	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	2052,1	0,38	0,25	33,15	0,50	0,31	19,58	0,00	9,06	8,42	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
int-15031	S/INF	M-106	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	27675	5,52	12,84	365,47	16,57	7,91	423,60	0,00	51,97	-9,40	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
int 15175	S/INF	M-107	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,71	27633,3	7,72	3,54	386,83	23,45	0,86	485,15	0,33	11,05	-8,25	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
int 15175	S/INF	M-108	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	953,27	2,02	0,16	8,09	2,00	0,10	2,29	0,33	9,01	2,19	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies mezcla
VOLCÁN, 2015	S/INF	M-109	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	11395,3	2,59	5,15	161,86	5,25	1,84	115,22	0,00	52,97	1,39	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
VISDOC MARACAIBO	15/07/1957	M-110	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	6772	0,00	2,96	80,69	2,20	2,17	9,36	1,93	71,18	0,71	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	S/INF	M-111	MARACAIBO FALCÓN	7	18929	0,00	141,95	86,04	37,93	1,19	69,36	0,00	195,85	-0,09	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_magnésica SALINAS
VISDOC MARACAIBO	13/07/1933	M-112	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	422	0,00	0,16	4,39	0,60	0,00	0,23	0,00	4,90	0,30	S/INF	245	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
SIMDE ORIENTE	04/03/1989	M-113	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	9147	0,00	1,15	137,28	4,74	0,42	111,33	0,00	31,38	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	25/07/1960	M-114	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,7	2094	0,00	1,23	24,62	1,20	4,23	0,76	2,80	19,26	0,01	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
VISDOC MARACAIBO	27/10/1980	M-115	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	356	0,00	0,16	4,05	0,40	0,00	0,59	0,40	3,61	0,12	S/INF	200	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
VISDOC MARACAIBO	16/03/1937	M-116	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	15750	0,00	0,08	248,85	5,44	12,43	212,62	0,00	29,24	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	15/03/1950	M-120	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,3	12588	0,00	0,16	177,73	3,99	10,47	99,43	0,00	71,98	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-121	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	29616	0,00	3,79	476,60	13,97	0,87	462,58	0,00	30,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-122	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	30437	0,00	3,87	489,70	13,97	0,81	473,87	0,00	32,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
VISDOC MARACAIBO	01/05/1988	M-123	MARACAIBO FALCÓN	6	185606,8	0,00	5,00	2631,31	567,89	2,91	3199,73	0,00	1,52	0,00	S/INF	76,27	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Dulce con Alta SDT
SIMDE ORIENTE	08/06/1959	M-125	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	56657	0,00	6,99	934,90	29,24	10,49	950,19	0,00	4,95	0,28	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies mezcla
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	23/04/1949	M-126	MARACAIBO FALCÓN	ND	10555	0,00	1,07	157,46	1,80	1,04	112,83	0,00	46,48	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Dulce con Alta SDT

REFERENCIA	FECHA	POZO CODIFICADO	CUENCA	pH	SDT (PPM)	K+ (mEQ/L)	Mg2+ (mEQ/L)	Na+ (mEQ/L)	Ca2+ (mEQ/L)	SO4 -- (mEQ/L)	Cl - (mEQ/L)	CO3-- (mEQ/L)	HCO3- (mEQ/L)	% BALANCE IÓNICO	CONDUCTIVIDAD (µohms/cm)	ALCALINIDAD TOTAL (mg/L CaCO3)	facies hidrogeoquímica
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	23/04/1949	M-127	MARACAIBO FALCÓN	ND	7713	0,00	3,29	110,18	2,50	8,66	73,34	0,00	33,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-128	MARACAIBO FALCÓN	11,4	3328	0,00	0,16	58,81	2,15	3,66	5,50	51,99	0,00	-0,03	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con mezcla en Piper
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-129	MARACAIBO FALCÓN	9,8	3415	0,00	0,25	57,11	1,95	5,33	5,05	43,99	5,00	-0,06	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con mezcla en Piper
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-130	MARACAIBO FALCÓN	8,5	3754	0,00	0,74	53,55	1,30	0,50	10,41	20,00	24,50	0,16	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-131	MARACAIBO FALCÓN	9,7	3852	0,00	0,16	62,98	1,85	3,41	7,64	43,99	10,00	-0,04	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-132	MARACAIBO FALCÓN	8,9	2630	0,00	0,16	41,98	0,20	1,52	6,35	24,00	10,51	-0,03	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-133	MARACAIBO FALCÓN	7,8	2362	0,00	0,33	28,58	1,20	0,58	5,90	0,00	23,60	0,04	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con mezcla en Piper
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-134	MARACAIBO FALCÓN	7,8	4473	0,00	0,25	53,50	2,89	0,06	10,52	0,00	45,99	0,06	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies connata muy diluida
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	02/08/1981	M-135	MARACAIBO FALCÓN	7,03	38029	0,00	143,02	344,55	191,63	30,40	645,93	0,00	2,79	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	20/02/1980	M-138	MARACAIBO FALCÓN	7,1	53624	0,00	42,05	712,54	169,67	8,91	905,42	0,00	13,18	-0,18	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	20/02/1980	M-139	MARACAIBO FALCÓN	5,3	66843	0,00	46,66	906,62	199,61	5,91	1145,18	0,00	9,00	-0,31	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	20/02/1980	M-140	MARACAIBO FALCÓN	6,4	57171	0,00	44,02	769,95	175,66	6,25	973,12	0,00	10,08	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-142	MARACAIBO FALCÓN	8,2	1820	0,00	3,04	23,36	2,59	0,98	22,03	0,00	6,00	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	30/11/1954	M-143	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	9365	0,00	0,66	149,81	1,30	12,85	80,95	10,00	34,42	4,67	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-144	ORIENTAL DE VENEZUELA	10,05	40864,2	2,76	0,79	671,33	15,57	1,98	662,94	6,78	19,66	-0,07	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-145	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	31240	0,00	12,43	489,92	33,53	0,00	530,11	0,00	5,90	-0,01	S/INF	280	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	09/06/2007	M-146	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	15193,23	0,00	5,20	170,39	51,82	0,00	234,80	10,00	25,40	-8,60	S/INF	1850	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	12/12/1952	M-147	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,3	47332	0,00	18,76	693,44	99,91	0,12	798,24	0,00	14,00	-0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	17/06/1953	M-148	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,2	9681	0,00	3,21	152,68	1,80	0,33	135,39	2,00	19,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Connata muy diluida
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-149	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	229,9	0,00	0,32	0,00	2,69	0,10	0,39	0,00	2,51	0,15	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_cálcica DULCES
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-150	MARACAIBO FALCÓN	7,4	6131,3	0,42	1,56	82,65	2,00	16,57	34,69	0,00	34,91	0,26	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies connata muy diluida
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-151	MARACAIBO FALCÓN	6,9	7207,8	0,43	1,56	96,22	2,00	21,17	34,69	0,00	43,81	0,27	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies connata muy diluida
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-152	MARACAIBO FALCÓN	7	7227,2	0,39	1,56	95,87	2,00	17,45	34,69	0,00	47,22	0,23	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies connata muy diluida
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-153	MARACAIBO FALCÓN	7,2	6951,8	0,40	1,56	96,61	2,00	19,70	34,69	0,00	40,64	2,83	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies connata muy diluida
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-154	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2076	0,97	0,99	23,40	1,30	11,14	1,04	0,00	14,59	-0,21	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-155	MARACAIBO FALCÓN	7,1	7741	0,64	0,82	106,13	2,00	12,58	49,93	0,00	46,74	0,16	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-156	MARACAIBO FALCÓN	7,2	6504	0,20	0,82	82,82	2,00	13,70	49,93	0,00	34,65	-6,75	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-157	MARACAIBO FALCÓN	7,7	2785,8	0,10	0,99	37,41	0,75	11,39	15,01	0,00	13,37	-0,67	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-158	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	435,5	0,00	0,78	1,70	3,29	0,21	1,10	0,00	4,46	0,05	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_cálcica DULCES
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-159	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	233,5	0,00	0,40	0,20	2,45	0,12	0,34	0,00	2,57	0,20	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_cálcica DULCES
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-160	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	421	0,00	0,66	0,61	4,19	0,27	0,65	0,00	4,57	-0,30	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_cálcica DULCES
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-161	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	317,5	0,00	0,78	1,65	1,70	0,29	0,48	0,00	3,36	0,01	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_cálcica DULCES
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-162	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	486	0,00	0,91	3,04	2,35	0,12	0,96	0,00	5,21	0,00	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies connata muy diluida
int-15061, NTE-01971 y INT 15102	S/INF	M-163	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	3957,9	0,97	0,09	49,20	0,40	1,54	24,26	3,27	28,65	-6,51	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
Barreto, 2017	S/INF	M-165	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	937,97	2,02	0,16	8,09	2,00	0,00	2,28	0,00	9,01	4,12	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
Barreto, 2017	S/INF	M-166	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	2052,12	0,38	0,26	33,15	0,50	0,31	19,58	0,00	9,06	8,44	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	09/07/1949	M-167	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,4	11011	0,00	0,58	143,37	1,35	2,33	44,88	0,00	97,97	0,04	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALINAS Subfacies dulce con SDT de medio a alto
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-168	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	9974	0,00	0,08	137,71	1,15	3,89	60,78	2,80	71,42	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-169	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,9	11176	0,00	1,56	155,29	2,05	3,96	82,08	0,00	72,87	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-170	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,2	9385	0,00	0,49	130,28	1,55	3,62	61,66	3,10	63,92	0,01	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-171	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	10524	0,00	0,82	158,33	2,50	7,02	125,52	0,00	33,38	-1,30	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-172	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,2	8863	0,00	0,91	124,58	0,80	1,77	63,75	2,40	58,26	0,04	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
PULIDO 2018	VERT	M-173	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	5802	0,43	0,08	94,22	0,85	5,20	83,18	2,37	5,42	-0,31	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
PULIDO 2018	VERT	M-174	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	9486	1,18	1,15	150,46	2,15	5,02	139,57	0,00	12,05	-0,54	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
PULIDO 2018	HOR	M-175	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	39371	6,37	15,63	638,02	8,53	1,31	653,23	0,17	14,19	-0,03	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
PULIDO 2018	HOR	M-176	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	30688	6,22	18,10	487,48	2,89	1,79	481,23	4,20	27,65	-0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies connata con posible filtración
VISDOC MARACAIBO	29/08/1949	M-177	MARACAIBO FALCÓN	7,4	2096	0,00	8,72	16,18	6,34	2,81	14,84	0,00	13,60	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	29/08/1949	M-178	MARACAIBO FALCÓN	7,2	3508	0,00	12,10	34,67	9,53	5,58	38,73	0,00	12,00	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PULIDO 2018	HOR	M-179	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	42548,6	5,29	32,01	660,47	21,96	0,03	690,83	0,17	29,99	-0,09	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies mezcla
PULIDO 2018	HOR	M-180	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	30410	5,12	12,34	496,35	1,70	0,29	497,84	2,93	14,14	0,03	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
PULIDO 2018	HOR	M-181	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	36002,8	12,02	11,19	582,91	1,84	1,25	589,51	1,67	15,55	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
PULIDO 2018	HOR	M-182	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	540,4	1,20	0,20	5,79	0,95	0,85	6,12	0,00	1,33	-1,03	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies muy diluida con SDT bajo
PULIDO 2018	HOR	M-183	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	666,8	0,08	0,21	8,57	1,20	2,19	5,98	0,00	2,02	-0,62	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies muy diluida con SDT bajo
PULIDO 2018	HOR	M-184	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	38185	4,86	17,28	605,31	15,47	1,29	613,29	0,00	28,75	-0,03	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies mezcla
SIMDE SUR 2 LABINCA	07/06/1985	M-199	BARINAS APURE	7,25	2457,4	0,00	1,20	37,70	0,80	22,90	6,49	0,00	3,77	8,98	S/INF	S/INF	SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 LABINCA	25/10/1985	M-201	BARINAS APURE	7,1	4839,4	0,00	1,10	72,99	1,40	54,13	7,33	0,00	4,26	6,91	S/INF	S/INF	SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 LABINCA	25/10/1985	M-202	BARINAS APURE	7,4	4681,4	0,00	0,70	72,68	1,10	54,13	5,36	0,00	3,11	8,66	S/INF	S/INF	SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 LABINCA	25/10/1985	M-203	BARINAS APURE	7,4	3266	0,00	0,60	49,53	1,00	37,48	4,23	0,00	2,46	7,31	S/INF	S/INF	SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 CORELAB	05/12/1985	M-204	BARINAS APURE	7,3	4451,01	0,00	1,97	53,42	2,50	36,33	19,80	0,00	11,50	-7,76	S/INF	S/INF	SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 CORELAB	05/12/1985	M-205	BARINAS APURE	7,2	4908,53	0,00	2,25	69,14	0,72	34,62	22,77	0,00	13,23	1,04	S/INF	S/INF	SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 CORELAB	05/12/1985	M-206	BARINAS APURE	7,2	6297,722	0,00	1,50	88,41	0,48	61,18	18,31	0,00	10,64	0,14	S/INF	S/INF	SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 CORELAB	13/11/1985	M-211	BARINAS APURE	7,68	2309,07	0,00	0,63	31,34	1,12	14,91	11,88	0,00	6,90	-0,90	S/INF	S/INF	SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 CORELAB	13/11/1985	M-212	BARINAS APURE	7,75	2732,01	0,00	0,79	37,57	0,80	19,37	12,87	0,00	7,48	-0,70	S/INF	S/INF	SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE ORIENTE	20/08/1951	M-215	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,2	32034	0,00	14,56	491,92	38,57	9,81	520,10	1,80	13,29	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	01/03/1947	M-216	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,45	8088	0,31	0,08	119,44	0,50	0,37	70,49	0,00	45,92	1,50	S/INF	4668	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Connata muy diluida
SIMDE ORIENTE	19/07/2007	M-217	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	33139,43	0,00	4,96	465,65	15,33	0,00	171,12	0,00	262,22	5,72	S/INF	16000	Facies bicarbonatada_sódica SALINAS Subfacies dulce con SDT de medio a alto
PULIDO 2018	HOR	M-218	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	18166,1	0,00	17,40	273,67	8,98	0,17	267,26	0,00	32,78	-0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
PULIDO 2018	VERT	M-219	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	8928	0,00	3,79	130,10	12,08	0,37	128,62	0,00	17,55	-0,20	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	05/04/1948	M-220	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,8	21885	3,89	3,95	324,54	8,43	1,79	262,38	0,00	76,49	0,02	S/INF	3826	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
SIMDE ORIENTE	17/04/1947	M-221	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,27	8488	1,02	0,58	128,84	0,45	2,31	83,35	11,53	33,73	-0,01	S/INF	3713	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Connata muy diluida
7407	S/INF	M-222	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	12148,241	0,00	0,00	178,00	3,00	0,50	112,99	0,00	65,00	0,70	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-223	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,4	35858	0,00	12,43	561,51	38,47	1,58	596,03	0,00	13,44	0,11	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-224	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,4	23380	0,00	6,25	371,30	15,87	1,27	372,32	0,80	19,09	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-225	ORIENTAL DE VENEZUELA	7	44752	0,00	8,23	713,97	42,87	1,46	754,80	0,00	9,00	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	21/11/1957	M-227	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,6	30644	0,00	13,66	491,18	14,47	1,17	499,25	0,60	18,39	-0,01	S/INF	2268	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-228	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	55989	0,00	98,99	732,50	159,69	0,29	969,34	0,00	6,00	0,79	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
VISDOC MARACAIBO	17/01/2000	M-229	MARACAIBO FALCÓN	4,25	39987,25	0,00	50,03	166,44	499,03	14,49	701,13	0,00	0,00	-0,01	S/INF	0	Facies clorurada_cálcica SALMUERAS
INT 7378	S/INF	M-230	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	35700	0,00	15,96	564,60	29,94	0,83	598,91	0,00	10,70	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
INT 7378	28/12/1999	M-231	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	31635,92	0,00	40,01	332,37	167,67	8,63	496,41	0,00	34,99	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-232	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,3	6778	0,00	0,16	97,35	0,45	3,44	51,05	3,20	40,28	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-233	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,3	23425	0,00	3,13	378,39	1,90	1,29	333,96	2,77	43,68	0,22	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
PULIDO 2018	VERT	M-234	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	28879	8,03	26,41	431,45	23,60	2,19	474,68	0,17	14,96	-0,25	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	17/09/1979	M-235	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,96	1737	0,00	6,42	17,83	6,99	0,00	30,01	0,17	0,66	0,65	7050	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Connata
VISDOC MARACAIBO	08/12/1950	M-236	MARACAIBO FALCÓN	8,1	1048	0,00	0,74	12,31	0,20	0,08	2,17	0,00	11,00	-0,27	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
SIMDE ORIENTE	02/02/1950	M-237	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,2	27014	0,00	10,62	436,41	8,28	1,56	433,08	0,00	20,60	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies connata con posible filtración
SIMDE ORIENTE	30/04/1984	M-238	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	44191	0,00	20,00	698,27	39,92	0,00	750,15	0,00	8,19	-0,01	66667	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	30/09/1994	M-239	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,7	57534	0,00	20,98	938,86	22,96	0,00	960,00	6,67	16,39	-0,01	109065	1200	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	17/11/1943	M-240	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	22273	0,00	9,71	348,98	21,56	2,17	370,77	0,00	7,39	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-241	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	1766	0,00	2,47	21,01	0,60	13,89	1,92	0,00	8,29	-0,04	S/INF	28,1	Facies sulfatada_sódica SALOBRES
SIMDE ORIENTE	31/05/1948	M-242	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	24405	0,00	14,07	384,61	17,22	0,37	403,77	0,00	11,70	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
VISDOC MARACAIBO	27/09/1960	M-243	MARACAIBO FALCÓN	7,9	7076	0,00	2,22	104,26	3,59	5,06	80,02	0,80	24,19	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	14/12/1947	M-244	MARACAIBO FALCÓN	8,8	6642	0,00	0,41	89,82	0,70	0,37	21,58	14,00	54,98	0,00	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
SIMDE ORIENTE	01/02/1957	M-246	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,6	8211	0,00	1,97	117,36	3,19	2,58	78,98	0,00	40,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
NT-OC-2012-165, DLS	S/INF	M-247	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2091,82	0,00	0,43	28,32	0,00	0,00	1,99	0,00	22,37	8,26	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	S/INF	M-248	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2127,02	0,00	0,35	24,49	0,00	0,00	2,50	0,00	24,11	-3,45	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	S/INF	M-249	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2978,33	0,00	0,92	30,54	0,00	0,00	1,78	0,00	36,09	-9,26	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	S/INF	M-250	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1656,52	0,00	0,68	17,01	0,00	0,00	1,84	0,00	19,54	-9,43	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-251	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1208	0,00	0,53	13,92	0,00	0,00	1,20	0,00	13,75	-1,72	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-252	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2292,67	0,00	0,50	24,10	0,00	0,00	1,68	0,00	27,42	-8,39	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-253	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2716,42	0,00	0,81	32,36	0,00	0,00	1,37	0,00	31,37	0,65	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-254	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	4197,65	0,00	1,80	54,46	0,00	0,00	3,18	0,00	46,07	6,64	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT

REFERENCIA	FECHA	POZO CODIFICADO	CUENCA	pH	SDT (PPM)	K+ (mEQ/L)	Mg2+ (mEQ/L)	Na+ (mEQ/L)	Ca2+ (mEQ/L)	SO4 -- (mEQ/L)	Cl - (mEQ/L)	CO3-- (mEQ/L)	HCO3- (mEQ/L)	% BALANCE IÓNICO	CONDUCTIVIDAD (µohms/cm)	ALCALINIDAD TOTAL (mg/L CaCO3)	facies hidrogeoquímica
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-255	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2311,74	0,00	0,83	26,01	0,00	0,00	2,25	0,00	26,62	-3,64	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-256	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	3160,58	0,00	3,04	34,15	0,00	0,00	2,56	0,00	36,84	-2,88	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-257	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2699,09	0,00	1,24	28,97	0,00	0,00	2,93	0,00	31,37	-6,34	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-258	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2673,98	0,00	1,40	29,01	0,00	0,00	2,76	0,00	31,01	-5,24	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-259	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	3020,03	0,00	3,56	33,23	0,00	0,00	3,18	0,00	34,42	-1,09	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-260	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	3529,73	0,00	2,52	42,67	0,00	0,00	2,23	0,00	39,97	3,42	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-261	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2769,12	0,00	1,47	28,14	0,00	0,00	2,29	0,00	33,15	-8,97	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-262	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2967,45	0,00	1,30	38,19	0,00	0,00	2,05	0,00	32,79	6,25	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-263	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1991,99	0,00	0,88	20,97	0,00	0,00	1,87	0,00	23,49	-7,44	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-264	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1787,51	0,00	0,77	20,14	0,00	0,00	2,54	0,00	20,08	-3,94	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-265	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2983,82	0,00	1,44	32,75	0,00	0,00	2,38	0,00	34,89	-4,30	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-266	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2542,45	0,00	1,92	29,01	0,00	0,00	2,26	0,00	29,04	-0,59	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	20/04/1940	M-267	MARACAIBO FALCÓN	7,5	5753	0,00	2,55	71,73	6,74	23,55	27,50	0,00	30,02	-0,04	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con mezcla en Piper
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-268	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	3135,95	0,00	1,54	31,84	0,00	0,00	2,18	0,00	37,83	-9,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
NT-OC-2012-165, DLS	29/03/2011	M-269	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1832,81	0,00	0,44	19,57	0,00	0,00	2,78	0,00	20,96	-8,52	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	23/09/1954	M-270	MARACAIBO FALCÓN	8	4234	0,00	0,58	54,24	1,25	0,56	15,51	2,00	37,99	0,00	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	02/08/1972	M-271	MARACAIBO FALCÓN	8,7	6655	0,00	16,00	70,23	13,60	4,52	54,07	2,50	38,75	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	21/02/1972	M-272	MARACAIBO FALCÓN	8,3	4984,1	0,00	13,99	49,28	11,58	3,98	42,00	0,00	28,99	-0,08	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	28/01/1966	M-273	MARACAIBO FALCÓN	7,3	895	0,00	1,40	10,00	1,55	0,19	6,66	0,00	6,10	0,04	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies Dulce Bajo SDT
VISDOC MARACAIBO	15/08/1962	M-274	MARACAIBO FALCÓN	8,6	7518	0,00	2,22	106,57	1,00	7,08	61,18	1,20	40,58	-0,11	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-275	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,2	12440	0,00	2,72	188,65	5,94	3,85	157,96	0,00	35,50	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-276	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	40459	0,00	8,72	604,01	81,44	0,46	680,34	0,00	11,36	0,15	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-277	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	39775	0,00	8,39	613,49	58,54	0,62	665,95	0,00	12,39	0,11	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-278	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	37526	0,00	9,13	574,39	53,55	2,02	610,10	0,00	23,11	0,14	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-279	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	10191	0,00	2,14	150,46	10,48	5,87	131,16	0,00	25,63	0,13	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-280	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,3	8903	0,00	1,56	131,49	3,44	1,89	95,90	2,00	36,73	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-281	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,6	4224	0,00	0,99	49,20	2,94	0,33	8,46	0,00	44,35	-0,01	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-282	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,5	37007	0,00	18,19	560,86	49,80	3,93	603,62	0,00	21,39	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-283	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,2	2275	0,00	1,81	31,06	0,90	1,42	16,92	2,80	12,60	0,04	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
VISDOC MARACAIBO	03/04/1958	M-285	MARACAIBO FALCÓN	6,5	14992	0,00	2,22	220,97	5,59	1,00	176,23	0,00	56,98	-1,17	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	17/09/1991	M-286	MARACAIBO FALCÓN	8,5	4613,5	0,00	0,00	62,73	2,40	0,81	26,80	1,20	34,39	1,50	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	22/07/1998	M-287	MARACAIBO FALCÓN	8,1	8327,6	0,00	2,56	133,14	0,72	0,26	125,24	0,00	12,60	-0,61	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	22/07/1998	M-288	MARACAIBO FALCÓN	8,5	4147,33	0,00	0,56	63,06	2,40	0,26	49,08	0,80	14,20	1,29	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
VISDOC MARACAIBO	S/INF	M-289	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	5902	0,00	18,10	0,00	84,59	9,12	41,60	0,00	33,99	9,59	S/INF	1700	Facies clorurada_cálcica SALOBRES
VISDOC MARACAIBO	01/07/1985	M-290	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	5408	0,00	4,69	62,46	0,80	0,35	4,06	4,40	59,10	0,03	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	20/09/1958	M-291	MARACAIBO FALCÓN	7,6	36281	0,00	16,79	473,30	24,85	428,39	46,06	0,00	40,79	-0,03	S/INF	S/INF	Facies sulfatada_sódica SALMUERAS
VISDOC MARACAIBO	07/08/1975	M-292	MARACAIBO FALCÓN	6,7	2674	0,00	1,23	39,10	1,40	7,25	28,21	0,00	6,29	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
SIMDE ORIENTE	15/09/1950	M-293	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,1	4907	0,00	2,88	63,77	3,64	0,67	37,01	0,00	32,60	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
VISDOC MARACAIBO	07/08/1973	M-294	MARACAIBO FALCÓN	7,3	25769	0,00	13,66	410,31	10,23	3,12	393,14	0,00	30,76	0,83	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
SIMDE SUR 2 LABINCA	27/03/1985	M-296	BARINAS APURE	S/INF	4209,1	0,00	3,00	42,31	9,98	2,08	40,90	0,00	23,76	-9,39	S/INF	S/INF	CLORURADA + SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 CORELAB	14/02/1985	M-302	BARINAS APURE	7,3	1236,7	0,00	1,45	15,69	2,71	2,50	9,65	0,00	5,61	5,59	S/INF	S/INF	CLORURADA + SULFATADA SÓDICA SALOBRE
000576	S/INF	M-312	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,5	4054,6	0,00	0,56	54,24	1,04	3,75	22,57	0,00	29,50	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-313	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	560	0,00	3,29	0,00	4,64	0,08	1,66	3,20	4,39	-8,14	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_cálcica DULCES
000576	S/INF	M-315	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,8	1599,3	0,00	0,32	21,97	1,52	0,75	14,95	0,00	8,10	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
000576	S/INF	M-316	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,4	14092,3	0,00	4,39	225,54	8,98	4,58	228,47	0,00	5,80	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-319	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,6	55542,4	0,00	0,96	942,37	4,87	4,00	939,84	0,00	4,20	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-320	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,5	25275,3	0,00	5,60	393,62	7,19	6,25	340,00	0,00	59,98	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000576	S/INF	M-321	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,5	38918	0,00	17,28	626,98	11,98	3,54	660,71	0,00	7,54	-1,17	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
000576	S/INF	M-322	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,5	38291,4	0,00	4,72	640,24	6,09	2,17	637,46	0,00	11,29	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies connata con posible filtración
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-324	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	64443,74	0,00	9,05	1086,04	7,49	7,27	1096,00	0,00	0,16	-0,04	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
000576	S/INF	M-325	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	3323	0,00	0,41	47,15	1,60	3,75	25,39	0,00	18,39	1,69	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	01/11/1955	M-326	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,7	14550	0,00	1,15	239,50	2,00	2,02	202,66	0,00	27,99	2,10	S/INF	3500	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000576 Y SIMDE ORIENTE	S/INF	M-327	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,7	1930	0,00	20,57	7,74	2,99	0,04	11,85	5,33	14,09	-0,01	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_magnésica SALOBRES
000576 Y SIMDE ORIENTE	S/INF	M-328	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,4	2435,3	0,00	0,60	27,58	2,40	1,44	3,95	0,00	25,19	0,00	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
000576 Y SIMDE ORIENTE	S/INF	M-329	ORIENTAL DE VENEZUELA	11,2	13269,3	0,00	0,60	217,75	16,37	14,57	191,80	4,60	4,75	4,22	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-330	ORIENTAL DE VENEZUELA	11,2	12387,8	0,00	43,06	169,08	14,37	9,16	188,98	5,00	6,55	3,86	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-331	ORIENTAL DE VENEZUELA	12,1	13144,83	0,00	0,82	194,16	28,44	3,77	208,73	7,67	4,75	-0,33	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000576	S/INF	M-332	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,9	18069	0,00	0,08	309,18	0,40	3,75	293,35	0,00	6,10	1,06	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies connata con posible filtración
000576	S/INF	M-333	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	19865,7	0,00	4,40	333,45	0,56	0,94	330,01	0,00	6,39	0,16	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
SIMDE ORIENTE	01/12/1968	M-334	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	23951	0,00	0,82	399,44	6,39	1,46	394,89	2,40	8,00	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies connata con posible filtración
000576	S/INF	M-336	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	2179	0,00	0,00	30,93	0,00	0,00	12,16	0,00	17,00	2,95	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
000576	S/INF	M-337	ORIENTAL DE VENEZUELA	11,2	35108,9	0,00	0,40	610,88	1,50	8,95	581,05	0,00	0,00	1,89	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	01/03/1969	M-340	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,6	8347	0,00	0,41	138,54	0,80	1,46	126,93	4,00	7,39	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
SIMDE ORIENTE	16/08/1956	M-341	ORIENTAL DE VENEZUELA	7	17379	0,00	2,39	271,43	10,68	3,33	251,21	0,00	29,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	01/06/1957	M-342	ORIENTAL DE VENEZUELA	7	19378	0,00	1,40	310,88	3,79	0,87	279,24	0,00	35,99	-0,01	S/INF	3821	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	20/09/1957	M-343	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,3	27261	0,00	2,30	440,63	12,38	3,52	425,92	0,00	25,99	-0,01	S/INF	2760	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-344	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	666,8	0,08	0,21	8,57	1,20	2,19	5,98	0,00	2,02	-0,62	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies muy diluida con SDT bajo
Lopez, 2018	S/INF	M-345	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	36002,8	12,02	11,19	582,91	1,84	1,25	589,51	1,67	15,55	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
Lopez, 2018	S/INF	M-346	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	38185	4,86	17,28	605,31	15,47	1,29	613,29	0,00	28,75	-0,03	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-347	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	39371	6,37	15,63	638,02	8,53	1,31	653,23	0,17	14,19	-0,03	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
Lopez, 2018	S/INF	M-348	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	42548,6	5,29	32,01	660,47	21,96	0,03	690,83	0,17	29,99	-0,09	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-349	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	540,4	1,20	0,20	5,79	0,95	0,85	6,12	0,00	1,33	-1,03	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies muy diluida con SDT bajo
Lopez, 2018	S/INF	M-350	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	5802	0,43	0,08	94,22	0,85	5,20	83,18	2,37	5,42	-0,31	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-351	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	8928	0,00	3,79	130,10	12,08	0,37	128,62	0,00	17,55	-0,20	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-352	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	9486	1,18	1,15	150,46	2,15	5,02	139,57	0,00	12,05	-0,54	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-353	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	18165	0,00	17,36	273,64	8,98	0,17	267,26	0,00	32,78	-0,04	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-354	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	28879	8,03	26,41	431,45	23,60	2,19	474,68	0,17	14,96	-0,25	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-355	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	30688	6,22	18,10	487,48	2,89	1,79	481,23	4,20	27,65	-0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies connata con posible filtración
Lopez, 2018	S/INF	M-356	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	30410	5,12	12,34	496,35	1,70	0,29	497,84	2,93	14,14	0,03	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	15/01/1959	M-357	ORIENTAL DE VENEZUELA	11,4	19133	0,00	0,41	321,49	28,79	31,85	220,01	60,99	0,00	5,70	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
Lopez, 2018	S/INF	M-358	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	19135	5,83	8,15	274,56	21,51	0,21	307,45	0,33	18,77	-2,62	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-360	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	17846	6,83	9,13	236,50	6,84	0,21	248,22	0,33	50,38	-7,13	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-361	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	20985	6,27	10,78	287,69	20,21	0,21	332,84	0,33	29,01	-5,45	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-362	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	19843	6,39	9,05	276,82	3,59	0,21	293,35	0,33	43,05	-6,49	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-363	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	19750	5,78	8,64	276,91	1,95	0,21	296,17	0,33	40,87	-7,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-364	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	26998	8,34	8,39	443,68	2,50	0,21	459,76	0,33	0,00	0,28	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-365	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	30179	7,80	8,23	427,84	4,54	0,21	459,76	0,33	57,80	-7,21	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	21/10/1958	M-366	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,4	15416	0,00	0,91	217,97	5,09	4,21	129,75	0,00	89,98	0,01	S/INF	9552	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
Lopez, 2018	S/INF	M-367	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	17317	5,19	8,31	249,76	0,60	0,21	223,06	0,33	54,59	-2,64	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-368	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	37641	5,37	13,41	635,07	12,23	0,21	583,87	0,33	27,91	4,20	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies connata con posible filtración
Lopez, 2018	S/INF	M-369	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	12461	5,19	3,29	166,12	5,79	0,21	191,78	0,33	23,99	-9,05	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-370	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	12963	6,09	3,04	167,16	9,13	0,21	197,16	0,33	27,07	-9,59	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-371	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	33370	13,15	17,69	456,33	10,28	0,21	572,59	0,33	26,62	-9,32	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-372	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	10708	4,78	6,67	143,19	6,79	0,21	156,74	0,33	23,52	-5,66	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
Lopez, 2018	S/INF	M-374	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	3377,4	1,59	2,39	50,85	0,22	0,21	59,04	0,33	0,00	-3,96	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	19/01/1959	M-375	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,3	24133	0,00	2,47	391,09	13,37	1,48	390,04	0,00	15,49	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	31/03/1970	M-376	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	19192	0,00	4,11	304,96	5,99	0,46	282,06	0,00	32,60	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	08/05/1952	M-377	ORIENTAL DE VENEZUELA	7	15458	0,00	1,97	243,63	5,79	5,68	217,19	0,00	28,58	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	13/03/1969	M-378	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	6509	0,00	0,41	107,96	0,40	1,25	101,54	0,40	5,61	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies connata con posible filtración
SIMDE ORIENTE	01/04/1952	M-379	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,7	22447	0,00	3,37	360,51	12,97	0,56	355,40	1,60	19,39	-0,01	S/INF	2142	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	01/12/1955	M-380	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	21321	0,00	1,89	339,89	7,69	2,71	307,84	3,00	35,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla

REFERENCIA	FECHA	POZO CODIFICADO	CUENCA	pH	SDT (PPM)	K+ (mEQ/L)	Mg2+ (mEQ/L)	Na+ (mEQ/L)	Ca2+ (mEQ/L)	SO4 -- (mEQ/L)	Cl - (mEQ/L)	CO3-- (mEQ/L)	HCO3- (mEQ/L)	% BALANCE IÓNICO	CONDUCTIVIDAD (µohms/cm)	ALCALINIDAD TOTAL (mg/L CaCO3)	facies hidrogeoquímica
SIMDE ORIENTE	01/03/1957	M-381	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,2	19611	0,00	0,99	310,49	3,49	4,68	262,32	2,00	45,99	0,00	S/INF	4988	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	12/03/1955	M-382	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	636	0,00	1,40	5,39	2,59	0,60	4,80	0,00	4,00	-0,05	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies muy diluida con SDT bajo
Ponton, 2018	S/INF	M-383	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	27891,94	9,87	83,11	368,64	29,19	42,24	428,85	0,00	3,33	1,70	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Mezclas con agua de Mar
Ponton, 2018	S/INF	M-384	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	37153,28	12,94	112,32	491,52	33,68	54,74	577,10	0,00	3,58	1,17	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Mezclas con agua de Mar
Ponton, 2018	S/INF	M-385	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	40129,54	14,45	119,15	524,15	36,73	53,63	635,35	0,00	3,76	0,13	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Mezclas con agua de Mar
Ponton, 2018	S/INF	M-387	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	42516,29	16,01	122,44	546,98	37,53	62,27	672,41	0,00	4,02	-1,08	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Mezclas con agua de Mar
Ponton, 2018	S/INF	M-388	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	42954,05	15,58	124,42	535,02	38,52	64,35	688,29	0,00	4,39	-2,96	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Mezclas con agua de Mar
Ponton, 2018	S/INF	M-389	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	43056,17	15,76	123,51	535,02	33,58	61,23	698,87	0,00	4,07	-3,82	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Mezclas con agua de Mar
Ponton, 2018	S/INF	M-390	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	28759,5	10,18	85,33	378,43	26,10	40,58	450,03	0,00	3,24	0,62	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Mezclas con agua de Mar
Ponton, 2018	S/INF	M-391	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	29513,02	10,61	85,58	398,00	26,65	38,70	460,64	0,00	3,02	1,81	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Mezclas con agua de Mar
Ponton, 2018	S/INF	M-392	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	27980,05	10,36	84,84	374,08	26,05	34,48	439,46	0,00	3,05	1,89	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Mezclas con agua de Mar
Ponton, 2018	S/INF	M-393	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	32210,12	11,71	95,12	428,45	29,74	40,52	508,28	0,00	3,02	1,18	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Mezclas con agua de Mar
Ponton, 2018	S/INF	M-394	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	35870,42	13,20	102,37	458,90	30,94	48,01	577,10	0,00	2,86	-1,83	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Mezclas con agua de Mar
Ponton, 2018	S/INF	M-395	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	34764,05	12,48	105,74	473,04	30,59	45,20	540,04	0,00	3,05	2,77	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Mezclas con agua de Mar
Ponton, 2018	S/INF	M-396	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	36246,13	12,84	106,73	464,34	47,56	49,57	571,80	0,00	2,72	0,59	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Mezclas con agua de Mar
Ponton, 2018	S/INF	M-397	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	37140,2	12,71	109,69	494,79	33,43	51,20	582,40	0,00	2,59	1,12	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Mezclas con agua de Mar
VISDOC MARACAIBO	01/11/1953	M-398	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	14563	0,00	11,03	219,62	16,97	10,39	231,29	0,80	5,20	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
Montero y Martínez, 2014	S/INF	M-399	MARACAIBO FALCÓN	6,5	6,83	0,01	0,04	0,03	0,03	0,06	0,04	0,00	0,00	5,29	S/INF	S/INF	Facies sulfatada_sódica DULCES
Vegas, 2016	26/06/1905	M-400	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1308,3	0,07	5,09	7,18	9,78	0,61	15,85	0,00	4,77	2,04	S/INF	S/INF	Facies clorurada_cálcica SALOBRES
Vegas, 2016	26/06/1905	M-401	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	533,3	0,03	1,28	3,29	3,30	0,20	1,12	0,00	5,33	8,69	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica Influenciadas
Vegas, 2016	26/06/1905	M-402	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	294,09	0,04	0,53	1,62	1,39	0,30	0,33	0,00	3,20	-3,21	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica Influenciadas
Vegas, 2016	26/06/1905	M-403	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	25,55	0,03	0,05	0,23	0,03	0,02	0,19	0,00	0,16	-3,89	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies Dulce Bajo SDT
Vegas, 2016	26/06/1905	M-404	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	15,5	0,01	0,02	0,14	0,02	0,02	0,09	0,00	0,11	-4,23	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
Vegas, 2016	26/06/1905	M-405	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	17,82	0,01	0,02	0,19	0,03	0,00	0,15	0,00	0,11	-0,92	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/06/1905	M-406	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1423,48	0,57	5,88	18,24	2,59	0,55	23,47	0,00	0,00	6,37	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
Vegas, 2016	26/06/1905	M-407	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	71,11	0,02	0,21	0,90	0,17	0,02	0,86	0,00	0,20	9,99	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/06/1905	M-409	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1395,42	0,69	5,35	10,35	6,70	3,80	13,10	0,00	4,65	3,42	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
Vegas, 2016	26/06/1905	M-411	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	916,61	0,07	2,20	5,56	4,91	1,82	1,51	0,00	8,52	3,61	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica Influenciadas
Vegas, 2016	26/06/1905	M-412	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	582,38	0,24	1,27	6,46	1,20	0,48	4,57	0,00	3,28	4,77	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/06/1905	M-413	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	150,44	0,32	0,64	0,77	0,03	0,00	0,52	0,00	1,52	-7,30	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
Vegas, 2016	26/06/1905	M-414	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	492,33	0,08	0,95	5,35	0,87	0,32	3,16	0,00	3,44	2,29	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica Influenciadas
Vegas, 2016	26/05/1905	M-415	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1347,8	0,59	5,84	11,96	3,03	2,77	13,88	0,00	4,80	-0,05	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
Vegas, 2016	26/06/1905	M-416	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	625	0,02	0,52	0,30	6,43	0,31	0,51	0,00	7,36	-5,85	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_cálcica DULCES
Vegas, 2016	26/05/1905	M-417	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	431	0,28	0,99	4,05	0,75	1,50	2,31	0,00	2,39	-1,16	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica Influenciadas
Vegas, 2016	26/05/1905	M-418	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	731	0,19	1,44	6,31	2,79	2,77	4,88	0,00	3,26	-0,82	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/05/1905	M-419	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	590	0,10	1,97	2,78	3,59	1,25	2,06	0,00	4,80	2,08	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_cálcica DULCES
Vegas, 2016	26/05/1905	M-420	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	314,5	0,19	0,66	2,48	0,85	0,58	0,51	0,00	2,93	1,87	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
Vegas, 2016	26/05/1905	M-422	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	378	0,28	0,91	3,61	0,50	0,96	1,61	0,00	2,62	1,03	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
Vegas, 2016	26/05/1905	M-423	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	510,5	0,63	1,15	5,22	1,05	1,52	5,36	0,00	1,11	0,33	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/05/1905	M-424	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	108,4	0,34	0,52	0,48	0,10	0,02	0,25	0,00	1,08	2,85	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica Influenciadas
Vegas, 2016	26/05/1905	M-425	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	51,8	0,07	0,30	0,33	0,12	0,06	0,34	0,00	0,34	4,43	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies connata muy diluida
Vegas, 2016	26/05/1905	M-426	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	108,1	0,05	0,38	1,22	0,04	0,21	1,18	0,00	0,34	-1,30	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/05/1905	M-427	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	578	0,28	1,23	6,44	1,20	0,31	10,30	0,00	0,00	-7,37	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/06/1905	M-428	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	581,57	0,61	2,46	3,83	1,18	1,58	4,63	0,00	2,88	-5,88	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/05/1905	M-429	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	377	0,49	2,88	1,96	0,95	0,15	4,32	0,00	1,62	1,52	S/INF	S/INF	Facies clorurada_magnésica DULCES
Vegas, 2016	26/06/1905	M-430	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	187,34	0,05	0,66	1,88	0,61	0,07	2,78	0,00	0,33	0,38	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/05/1905	M-431	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	894,5	0,83	5,35	7,61	1,05	0,94	11,76	0,00	2,28	-0,46	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/06/1905	M-432	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	784,6	0,53	2,50	7,05	2,32	1,97	6,67	0,00	3,18	2,43	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/05/1905	M-433	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	544,5	0,43	3,66	3,35	1,00	0,83	4,29	0,00	3,18	0,86	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/05/1905	M-434	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2012,5	0,93	7,24	21,23	4,14	7,74	21,78	0,00	2,84	1,80	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
Vegas, 2016	26/06/1905	M-436	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1953,25	0,61	8,26	15,56	7,29	5,06	24,17	0,00	3,69	-1,87	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
Vegas, 2016	26/06/1905	M-437	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	531,56	0,42	1,03	5,13	1,54	1,19	5,32	0,00	1,77	-0,97	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/06/1905	M-438	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	261,92	0,03	0,44	0,85	1,85	0,26	0,99	0,00	2,47	-8,27	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_cálcica DULCES
Vegas, 2016	26/06/1905	M-439	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	828,11	0,45	1,84	6,58	3,80	2,25	5,66	0,00	4,13	2,54	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/06/1905	M-440	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1588,63	0,79	7,04	13,92	1,91	3,54	21,66	0,00	2,88	-8,57	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
Vegas, 2016	26/06/1905	M-441	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	483,64	0,38	0,95	4,96	0,94	1,41	3,89	0,00	1,95	-0,21	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/06/1905	M-442	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	540,8	0,39	1,45	5,43	1,10	1,37	5,05	0,00	1,90	0,20	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/06/1905	M-443	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1180,33	0,61	3,14	11,30	3,66	3,06	11,93	0,00	3,52	0,55	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
Vegas, 2016	26/06/1905	M-447	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	440,25	0,59	0,69	4,78	0,23	1,69	3,66	0,00	1,36	-3,17	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/06/1905	M-448	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	685,93	0,71	3,22	6,22	1,08	0,32	10,72	0,00	0,97	-3,34	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/06/1905	M-449	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1002,3	0,88	3,55	10,87	0,78	1,36	14,81	0,00	1,13	-3,64	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
Vegas, 2016	26/06/1905	M-450	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	661,89	0,68	1,81	6,28	0,69	1,69	8,41	0,00	1,25	-9,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/06/1905	M-451	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2058,98	0,23	5,28	15,40	8,27	7,79	16,08	0,00	8,56	-5,25	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
Vegas, 2016	26/06/1905	M-452	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	854,91	0,22	3,56	9,92	0,67	0,74	13,40	0,00	0,84	-2,08	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/06/1905	M-453	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	800,94	0,65	3,33	7,01	0,94	2,23	10,49	0,00	1,25	-7,87	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/06/1905	M-454	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	5605,85	0,70	19,89	63,71	6,10	15,07	83,41	0,00	1,13	-4,85	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
Vegas, 2016	26/06/1905	M-457	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1213,1	0,08	4,51	8,72	4,80	1,06	8,03	0,00	8,57	1,25	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con mezcla en Piper
Vegas, 2016	26/06/1905	M-458	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	516,22	0,03	1,00	0,43	4,93	0,15	0,23	0,00	6,21	-1,58	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_cálcica DULCES
Vegas, 2016	26/06/1905	M-459	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2007,05	1,62	8,83	20,73	3,37	3,20	29,74	0,00	1,38	0,35	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
Vegas, 2016	26/06/1905	M-460	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	544,75	0,04	1,06	0,03	5,54	0,13	0,07	0,00	6,72	-1,77	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_cálcica DULCES
Vegas, 2016	26/06/1905	M-461	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	548,15	0,58	2,08	5,45	0,76	0,97	6,77	0,00	1,20	-0,34	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/06/1905	M-462	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1201,14	0,13	3,10	4,87	8,02	0,00	8,25	0,00	9,72	-5,41	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_cálcica SALOBRES
Vegas, 2016	26/06/1905	M-463	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2076,26	0,79	6,18	17,60	11,92	7,77	22,82	0,00	2,38	5,07	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
Vegas, 2016	26/05/1905	M-464	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	401,8	0,40	1,36	4,00	0,44	0,85	6,43	0,00	0,00	-8,08	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/06/1905	M-465	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	158,82	0,02	0,30	0,20	1,51	0,14	0,03	0,00	1,84	0,51	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_cálcica DULCES
Vegas, 2016	26/06/1905	M-466	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	913,38	0,04	3,19	4,15	5,01	0,54	2,26	0,00	9,36	0,89	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_cálcica DULCES
Vegas, 2016	26/05/1905	M-467	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	558	0,43	2,22	5,00	1,00	1,25	7,47	0,00	0,89	-5,21	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/05/1905	M-468	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	899,3	0,79	3,76	8,70	1,68	1,77	11,11	0,00	1,80	0,82	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/05/1905	M-469	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	735	0,38	2,06	8,26	0,85	2,81	8,21	0,00	1,02	-2,04	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/05/1905	M-470	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	587,5	0,69	3,60	5,44	0,44	0,52	8,32	0,00	1,03	1,44	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
Vegas, 2016	26/05/1905	M-471	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	636,6	0,46	3,29	6,09	0,88	0,90	8,60	0,00	1,20	0,12	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies mezcla con agua de mar
000802	S/INF	M-474	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,5	30035	0,00	10,29	479,61	18,11	0,79	487,97	0,00	19,39	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-475	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	2141	0,00	0,00	26,27	2,79	2,10	7,31	0,00	18,37	2,26	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
000802	S/INF	M-476	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	2125	0,00	0,00	26,79	2,50	1,62	8,41	0,00	17,75	2,65	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
000802	S/INF	M-477	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,6	31360	0,00	9,55	508,36	11,03	2,77	504,92	0,00	21,34	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies connata con posible filtración
000802	S/INF	M-478	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	32237	0,00	6,99	510,05	23,15	2,12	507,71	0,00	30,48	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-479	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,6	32930	0,00	12,84	529,32	17,22	0,52	538,74	0,00	18,60	0,14	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-480	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	23479	0,00	5,92	375,26	13,87	2,35	370,49	0,00	20,55	0,21	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-481	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	34597	0,00	8,64	558,60	18,46	1,54	565,03	0,00	19,24	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-482	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,3	34410	0,00	8,97	543,98	30,64	0,85	564,13	0,00	18,68	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-483	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	33715	0,00	10,37	532,11	25,10	0,94	538,74	0,00	27,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-484	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	31673	0,00	8,80	521,41	6,79	1,96	516,18	0,00	17,19	0,16	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies connata con posible filtración
000802	S/INF	M-485	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	30924,4	0,00	10,67	493,45	14,45	3,68	486,69	0,00	28,34	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-486	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,6	59311	0,00	29,46	820,54	166,58	7,45	991,62	0,00	20,27	-0,14	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-487	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,6	54093,8	0,00	20,57	757,08	149,75	0,00	907,45	0,00	20,75	-0,04	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-488	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,6	32572	0,00	5,92	524,37	17,57	2,69	520,75	0,00	24,62	-0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-490	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	51030	0,00	17,44	772,08	85,68	0,40	863,11	0,00	12,00	-0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-491	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	40873	0,00	12,18	629,41	54,49	1,10	676,95	0,00	18,19	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-492	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	47838	0,00	12,34	740,51	62,48	1,10	795,42	0,00	18,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-493	ORIENTAL DE VENEZUELA	7	33699	0,00	11,36	542,90	15,12	1,54	546,78	0,00	21,60	-0,05	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-494	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	50313	0,00	19,09	759,86	83,79	1,21	849,01	0,00	12,70	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida

REFERENCIA	FECHA	POZO CODIFICADO	CUENCA	pH	SDT (PPM)	K+ (mEQ/L)	Mg2+ (mEQ/L)	Na+ (mEQ/L)	Ca2+ (mEQ/L)	SO4 -- (mEQ/L)	Cl - (mEQ/L)	CO3-- (mEQ/L)	HCO3- (mEQ/L)	% BALANCE IÓNICO	CONDUCTIVIDAD (µohms/cm)	ALCALINIDAD TOTAL (mg/L CaCO3)	facies hidrogeoquímica
000802	S/INF	M-495	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,1	36937	0,00	10,86	597,01	21,26	1,60	603,62	0,00	19,29	0,37	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-496	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	34750	0,00	7,90	609,23	3,49	1,71	569,35	0,00	5,10	3,72	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies connata con posible filtración
000802	S/INF	M-499	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	36128	0,00	11,60	598,31	18,26	1,81	583,87	0,00	17,68	2,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies connata con posible filtración
000802	S/INF	M-500	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	34350	0,00	10,53	546,51	20,36	0,83	547,01	0,00	29,78	-0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-501	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,7	33184	0,00	6,09	532,37	16,07	1,87	519,00	0,00	33,74	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-502	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	54877	0,00	16,46	819,28	106,49	0,15	930,81	0,00	11,49	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-503	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,7	31758	0,00	10,62	506,84	15,07	0,25	507,71	0,00	27,25	-0,25	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-504	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,2	52105	0,00	19,91	794,18	81,04	0,44	885,68	0,00	9,18	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-505	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,3	55090	0,00	14,32	799,36	131,74	0,40	930,81	0,00	14,42	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-506	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	37982	0,00	14,48	602,66	15,97	0,52	586,69	0,00	45,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-507	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	34910	0,00	10,20	550,38	27,30	1,02	558,49	0,00	28,47	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-508	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,7	36715	0,00	13,66	596,75	13,97	0,46	603,62	0,00	18,49	0,15	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-509	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	34171	0,00	9,30	556,29	13,52	1,79	559,76	0,00	17,49	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-510	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,4	34844	0,00	10,45	559,47	19,46	0,87	566,95	0,00	21,68	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-511	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,6	32893	0,00	1,32	529,93	22,81	0,04	530,28	0,00	23,52	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-512	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	32658	0,00	6,42	527,63	14,97	1,33	521,82	0,00	25,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-513	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	26064	0,00	6,01	427,37	18,16	2,35	406,17	0,00	21,13	2,48	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-514	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,5	25377	0,00	3,87	401,57	8,28	0,42	372,32	0,00	44,45	-0,42	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-515	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	44733	0,00	9,13	699,05	51,70	0,56	747,47	0,00	16,19	-0,28	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-516	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	39145	0,00	14,32	582,57	74,50	0,21	660,03	0,00	11,06	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-517	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	47702	0,00	9,79	774,26	21,46	1,10	784,14	0,00	24,58	-0,27	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-518	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,7	33535	0,00	10,37	539,11	18,81	0,44	544,38	0,00	21,58	0,17	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-519	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,3	44852	0,00	20,33	688,96	59,98	0,67	758,75	0,00	10,36	-0,03	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-520	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,6	32509	0,00	11,93	521,62	13,87	1,02	519,87	0,00	26,45	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-521	ORIENTAL DE VENEZUELA	7	33774	0,00	13,08	540,72	15,52	3,23	541,03	0,00	25,19	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-522	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	32963	0,00	10,04	520,89	18,81	0,73	510,54	0,00	38,58	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
000802	S/INF	M-523	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,6	31446	0,00	6,42	507,88	13,07	2,62	497,87	0,00	27,09	-0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-524	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,4	30919	0,00	3,95	503,96	15,62	2,21	506,50	0,00	14,90	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-525	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,3	17947	0,00	4,53	289,43	11,08	0,37	293,35	0,00	9,80	0,25	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-526	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	29156	0,00	5,84	460,12	16,57	1,96	440,02	0,00	40,66	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-527	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	20076	0,00	6,34	323,67	10,58	0,25	330,01	0,00	10,39	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-528	ORIENTAL DE VENEZUELA	7	26683	0,00	5,51	423,80	16,77	1,04	417,45	0,00	27,65	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-529	ORIENTAL DE VENEZUELA	7	24696,7	0,00	5,18	417,80	15,37	0,98	408,99	0,00	2,85	3,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-530	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	29257	0,00	4,85	481,04	4,89	1,10	465,40	0,00	24,39	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
000802	S/INF	M-531	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	28189	0,00	4,28	449,59	17,82	1,71	442,84	0,00	27,24	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-532	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	46468	0,00	17,20	698,18	77,15	0,92	770,03	0,00	21,60	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-533	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,95	54969	0,00	46,82	788,27	124,76	0,29	911,07	0,00	23,99	1,29	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-534	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	25844	0,00	3,79	412,23	12,78	0,65	394,89	0,00	33,34	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-535	ORIENTAL DE VENEZUELA	7	22636	0,00	7,16	352,77	14,07	1,10	338,48	0,00	34,48	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-536	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	49704	0,00	15,72	755,43	75,80	0,50	823,63	0,00	22,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-537	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	30244	0,00	7,16	479,61	24,60	1,89	490,79	0,00	18,80	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-538	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,7	15563,7	0,00	3,62	246,41	5,60	0,26	225,65	0,00	28,35	0,27	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-539	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	22732	0,00	7,98	360,42	12,48	5,31	355,40	0,00	20,39	-0,03	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-540	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	49549	0,00	17,20	761,51	66,87	1,19	828,11	0,00	17,65	-0,08	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-541	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,3	27733	0,00	4,94	445,68	16,32	0,40	445,66	0,00	20,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-542	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,6	30328	0,00	5,10	493,26	16,37	2,08	490,79	0,00	18,00	0,38	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-544	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,4	29477	0,00	6,01	475,04	18,61	0,25	479,51	0,00	18,00	0,19	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-545	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,7	24557	0,00	4,28	387,17	15,67	2,87	372,32	0,00	31,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-546	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,7	34289	0,00	10,29	542,33	23,10	0,87	544,38	0,00	30,99	-0,05	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-547	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	21617	0,00	5,18	337,76	15,27	1,10	327,19	0,00	29,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-548	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,7	55875	0,00	12,92	799,14	146,76	0,48	942,94	0,00	15,60	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-549	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,4	28871	0,00	5,02	465,43	18,31	1,77	467,10	0,00	18,00	0,19	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-550	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	50804	0,00	18,84	771,69	82,19	0,79	863,11	0,00	9,00	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-551	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,5	8666	0,00	1,97	138,37	2,50	0,25	119,59	0,00	18,99	1,42	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-552	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	29486	0,00	6,99	470,38	17,32	0,69	467,10	0,00	26,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-553	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	42614	0,00	13,08	651,68	62,23	0,46	715,03	0,00	14,00	-0,17	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-554	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,6	28024	0,00	5,35	444,63	19,41	1,06	441,43	0,00	26,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-555	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	34363	0,00	8,97	545,20	18,71	0,73	532,25	0,00	39,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
000802	S/INF	M-556	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,7	31090	0,00	3,95	500,14	23,85	1,37	513,36	0,00	13,11	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-557	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	28663	0,00	4,44	458,64	16,77	1,46	451,30	0,00	27,19	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-558	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,4	31408,6	0,00	11,30	495,60	21,47	5,15	498,04	0,00	25,29	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-559	ORIENTAL DE VENEZUELA	6	1533	0,00	0,58	21,92	1,60	0,37	18,62	0,00	5,11	-0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies connata con posible filtración
000802	S/INF	M-560	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	24319	0,00	3,04	386,30	16,97	0,21	380,79	0,00	25,42	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
000802	S/INF	M-561	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	31450	0,00	9,63	501,18	21,76	0,33	513,36	0,00	18,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-562	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	31291	0,00	11,60	496,09	19,96	1,77	502,07	0,00	23,93	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-563	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	42461	0,00	20,08	644,98	57,89	0,60	699,52	0,00	22,94	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-564	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	32523	0,00	28,39	477,39	40,92	1,21	519,00	0,00	31,55	-0,46	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-565	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,3	36049	0,00	12,59	574,65	21,61	2,14	581,98	0,00	24,85	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-566	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	33543	0,00	8,23	528,37	24,35	2,75	539,45	0,00	25,42	-0,59	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
000802	S/INF	M-567	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,5	32348	0,00	12,34	520,06	15,87	0,33	527,46	0,00	19,80	0,06	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-568	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,6	33616	0,00	10,37	553,51	9,73	0,73	560,74	0,00	10,73	0,12	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
000802	S/INF	M-569	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,6	26979,1	0,00	8,52	430,04	16,93	1,47	432,97	0,00	20,14	0,10	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	14/07/2014	M-570	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	29814,9	0,00	2,24	478,43	25,86	0,00	486,60	0,00	16,70	0,32	S/INF	1019	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
Barreto, 2017	S/INF	M-571	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	9,19	0,01	0,02	0,11	0,01	0,03	0,12	0,00	0,00	0,66	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies muy diluida con SDT bajo
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-572	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,7	7309	0,00	0,00	115,96	0,30	0,00	80,02	13,33	22,94	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
006459	S/INF	M-573	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,91	7441,2	0,00	0,59	112,44	1,60	0,00	80,02	0,00	32,45	0,95	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
006459	S/INF	M-574	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,6	5737	0,00	20,98	64,03	2,99	0,00	55,00	0,00	32,78	0,13	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
006459	S/INF	M-575	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,12	4725	0,00	1,23	78,90	0,70	0,00	80,02	0,17	0,66	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-576	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,91	2373	0,00	0,00	37,45	3,19	0,00	40,00	0,00	0,49	0,19	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-577	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,11	2466	0,00	0,91	40,58	0,70	0,00	40,00	0,33	1,31	0,65	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-578	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,54	9717	0,00	1,40	147,98	0,60	0,00	100,02	10,00	39,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
006459	S/INF	M-579	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,91	5494	0,00	1,23	76,25	0,40	0,00	40,00	0,00	37,69	0,12	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
006459	S/INF	M-580	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,97	5316	0,00	0,91	77,99	0,40	0,00	30,01	18,33	30,98	-0,01	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
006459	S/INF	M-581	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,6	3202	0,00	0,99	46,93	1,00	0,00	35,00	0,00	13,93	-0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
006459	S/INF	M-582	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,42	1218	0,00	1,32	18,31	1,20	0,00	20,00	0,10	0,74	-0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-583	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,75	5640	0,00	0,82	82,65	0,60	0,00	40,00	20,00	27,86	-2,20	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con posible intercambio con el medio y SDT de medio a alta
006459	S/INF	M-584	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,24	8242	0,00	1,07	139,32	0,60	0,00	140,02	0,33	0,66	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-585	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,71	7954	0,00	0,99	125,88	1,00	0,00	60,02	39,99	27,86	0,00	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con posible intercambio con el medio y SDT de medio a alta
SIMDE ORIENTE	27/06/1980	M-586	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,58	5746	0,00	3,04	94,56	2,99	0,10	97,03	0,00	0,49	1,50	10420	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Connata
006459	S/INF	M-587	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,58	5741	0,00	3,04	94,56	2,99	0,00	97,03	0,00	0,49	1,56	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-588	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,85	6190	0,00	0,16	95,09	1,20	0,00	60,02	12,00	24,42	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
006459	S/INF	M-589	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,37	3549	0,00	1,40	57,94	1,60	0,00	60,02	0,00	0,66	0,21	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-590	ORIENTAL DE VENEZUELA	9,2	4380	0,00	0,49	58,55	1,00	0,00	25,61	0,00	34,42	0,01	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
006459	S/INF	M-591	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,5	4749	0,00	0,16	67,99	1,00	0,00	30,01	9,33	29,83	-0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
006459	S/INF	M-593	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,71	7721	0,00	0,99	123,32	1,00	0,00	85,01	20,00	20,32	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
006459	S/INF	M-594	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,48	14520	0,00	11,44	230,63	9,18	0,00	250,05	0,67	0,16	0,07	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
006459	S/INF	M-595	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,77	15966	0,00	1,40	254,64	1,20	0,00	220,04	0,00	37,20	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
006459	S/INF	M-596	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,91	4436	0,00	0,74	63,12	0,60	0,00	30,01	6,67	27,86	-0,06	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
006459	S/INF	M-597	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	6445	0,00	0,58	94,74	1,60	0,00	60,02	6,67	31,14	-0,47	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
006459	S/INF	M-598	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,82	5569	0,00	0,41	89,30	1,20	0,00	80,02	0,00	10,65	0,13	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
006459	S/INF	M-599	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,27	9316	0,00	1,97	148,76	9,38	0,00	160,04	0,00	0,16	-0,03	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida

REFERENCIA	FECHA	POZO CODIFICADO	CUENCA	pH	SDT (PPM)	K+ (mEQ/L)	Mg2+ (mEQ/L)	Na+ (mEQ/L)	Ca2+ (mEQ/L)	SO4 -- (mEQ/L)	Cl - (mEQ/L)	CO3-- (mEQ/L)	HCO3- (mEQ/L)	% BALANCE IÓNICO	CONDUCTIVIDAD (µohms/cm)	ALCALINIDAD TOTAL (mg/L CaCO3)	facies hidrogeoquímica
006459	S/INF	M-600	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,17	3525,7	0,00	0,80	58,46	1,20	0,00	60,02	0,33	0,16	-0,05	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
SIMDE ORIENTE	28/01/2016	M-601	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	18568,1	0,00	0,52	309,02	5,10	0,00	301,85	0,00	10,72	0,33	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
006459	S/INF	M-602	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,67	6535	0,00	2,22	111,18	1,60	0,00	110,00	0,00	0,33	2,07	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-603	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,15	1815,3	0,00	0,82	29,71	0,65	0,00	31,01	0,00	0,16	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-604	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,57	15647	0,00	1,56	263,60	0,40	0,00	260,06	0,00	5,57	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	28/10/2010	M-605	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	26177,7	0,00	7,92	369,84	62,30	0,00	392,93	0,00	39,33	0,89	54000	2400	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
006459	S/INF	M-606	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	21019	0,00	2,39	352,42	1,60	0,00	340,06	6,67	9,83	-0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	08/07/1905	M-607	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,2	5133	1,87	0,81	57,42	2,25	1,08	24,26	0,33	45,28	-6,46	7,01	2265	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
006459	S/INF	M-608	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,81	1813	0,00	0,08	29,88	0,80	0,10	30,01	0,00	0,66	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-609	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,45	9984	0,00	0,82	169,03	1,00	0,00	170,03	0,33	0,49	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-610	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	1854	0,00	0,58	30,49	1,60	0,00	30,01	0,67	0,49	2,34	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-611	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,32	3075	0,00	1,56	49,50	1,60	0,69	50,01	1,33	0,66	-0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-612	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,5	14321	0,00	0,49	240,46	2,00	0,00	210,05	10,00	16,39	1,36	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	23/06/1980	M-613	ORIENTAL DE VENEZUELA	9	10769	0,00	4,03	176,47	3,99	0,00	180,04	1,67	2,46	0,09	S/INF	150	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
006459	S/INF	M-614	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	10769	0,00	4,03	176,47	3,99	0,00	180,04	1,67	2,46	0,09	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
006459	S/INF	M-615	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,01	11889	0,00	0,58	194,83	1,00	0,00	180,04	0,00	16,39	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
006459	S/INF	M-616	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,68	5934	0,00	1,23	83,25	1,60	0,00	50,01	0,00	36,06	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
006459	S/INF	M-617	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,79	4070	0,00	0,16	65,20	0,80	0,00	50,01	6,67	9,51	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
006459	S/INF	M-618	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,55	9941	0,00	3,21	149,55	2,59	0,35	120,02	0,00	35,07	-0,03	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
006459	S/INF	M-619	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,44	2423	0,00	1,40	39,41	0,60	0,00	40,00	0,33	0,98	0,11	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
SIMDE ORIENTE	15/04/1980	M-620	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,8	2399	0,00	1,56	37,32	2,20	0,00	40,00	0,33	0,82	-0,08	8100	50	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-621	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,8	2389	0,00	1,56	37,32	2,20	0,00	40,00	0,67	0,49	-0,09	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-622	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,9	10287	0,00	2,63	163,07	1,40	0,00	140,41	18,66	15,41	-2,16	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
006459	S/INF	M-623	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,2	4880	0,00	0,99	73,64	0,40	0,00	14,86	33,33	26,88	-0,03	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
SIMDE ORIENTE	09/04/1980	M-624	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	3578	0,00	2,80	56,94	1,60	0,00	60,02	0,17	1,15	0,00	S/INF	70	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-625	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,01	3573	0,00	2,80	56,94	1,60	0,00	60,02	0,33	0,98	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
006459	S/INF	M-626	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	12057	0,00	7,98	182,73	2,00	0,00	150,03	6,67	36,06	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	31/01/1985	M-627	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,36	8871,3	0,00	2,00	145,63	3,99	0,00	150,03	0,00	1,64	-0,02	12500	100	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-628	ORIENTAL DE VENEZUELA	9	4680	0,00	1,23	76,03	2,20	0,00	69,19	6,67	3,61	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	17/12/1936	M-629	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,8	11005,4	0,00	4,92	160,76	10,88	0,31	146,11	0,00	30,11	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
VISDOC MARACAIBO	18/01/1982	M-630	MARACAIBO FALCÓN	7,54	371,87	0,00	0,08	4,30	0,08	0,00	0,06	0,00	4,40	0,07	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
SIMDE ORIENTE	26/07/1979	M-631	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,58	16168	0,00	6,17	270,60	3,59	0,00	260,06	5,00	7,05	1,49	23500	930	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-632	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,7	22384	0,00	9,55	356,20	8,78	0,29	350,07	0,00	24,22	-0,01	34000	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
VISDOC MARACAIBO	13/01/1958	M-633	MARACAIBO FALCÓN	8,8	8253	0,00	0,25	116,92	0,45	6,45	51,90	6,67	52,49	0,04	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con mezcla en Piper
VISDOC MARACAIBO	13/01/1958	M-634	MARACAIBO FALCÓN	8,5	8264	0,00	0,41	119,66	0,20	3,54	66,00	3,20	47,50	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	07/01/1958	M-635	MARACAIBO FALCÓN	7,25	275	0,00	0,25	2,35	1,30	0,21	1,69	0,00	2,00	-0,09	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-636	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,2	5059	0,00	6,01	45,63	34,93	0,00	80,02	0,00	6,56	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-637	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,6	2354	0,00	13,99	0,00	25,95	0,00	30,01	0,00	9,83	0,12	S/INF	S/INF	Facies clorurada_cálcica SALOBRES
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-638	ORIENTAL DE VENEZUELA	5,7	6888	0,00	7,98	17,01	94,82	0,00	110,00	0,00	9,83	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_cálcica SALOBRES
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-639	ORIENTAL DE VENEZUELA	6	326939	0,00	0,00	3247,41	2395,33	0,00	5479,99	0,00	163,89	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
Montero y Martínez, 2014	S/INF	M-640	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2809,81	0,60	32,26	0,40	10,53	45,18	0,11	0,00	0,00	-1,69	S/INF	S/INF	Facies sulfatada_magnésica SALOBRES
Montero y Martínez, 2014	S/INF	M-641	MARACAIBO FALCÓN	2,05	2878	0,51	31,68	0,31	9,03	47,47	0,13	0,00	0,00	-6,80	S/INF	S/INF	Facies sulfatada_magnésica SALOBRES
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	11/11/1953	M-642	MARACAIBO FALCÓN	7,3	14563	0,00	11,03	219,62	16,97	10,39	231,29	0,80	5,20	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-643	MARACAIBO FALCÓN	6,1	17367	0,00	2,30	253,55	4,99	0,10	173,75	2,00	84,98	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	18/07/1955	M-644	MARACAIBO FALCÓN	7,6	14476	0,00	1,15	225,10	2,89	13,37	177,42	2,00	36,66	-0,07	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	01/10/1953	M-645	MARACAIBO FALCÓN	7,5	9004	0,00	0,82	134,02	1,90	1,29	95,90	0,00	39,55	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
000576	S/INF	M-646	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,5	14744,4	0,00	9,45	229,67	2,48	2,29	211,55	0,00	27,70	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	22/10/1956	M-648	MARACAIBO FALCÓN	7,1	11275	0,00	2,80	168,55	3,79	0,58	132,57	0,00	41,99	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	22/10/1956	M-649	MARACAIBO FALCÓN	7,2	11969	0,00	2,72	175,38	2,69	0,71	124,11	0,00	55,98	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	01/10/1956	M-650	MARACAIBO FALCÓN	8,3	9515	0,00	1,15	122,62	1,70	16,63	11,85	0,00	88,98	3,30	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	06/03/1996	M-651	MARACAIBO FALCÓN	8,6	2503,06	0,38	0,72	34,86	0,73	0,65	17,93	3,64	14,54	-0,07	S/INF	909	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con mezcla en Piper
SIMDE ORIENTE	08/05/2007	M-652	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	25613,59	0,00	12,06	340,53	87,63	0,00	422,60	0,00	14,75	0,33	S/INF	900	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	30/05/1956	M-653	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,7	5817	0,00	0,99	84,73	5,39	3,98	67,70	1,00	18,49	-0,03	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	13/04/1953	M-654	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,9	11027	0,00	0,58	147,76	1,00	6,12	46,26	8,00	88,98	-0,01	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALINAS Subfacies dulce con SDT de medio a alto
SIMDE ORIENTE	08/01/1953	M-655	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,4	24410	0,00	2,63	395,92	4,39	2,37	366,68	0,00	33,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	01/10/1947	M-656	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,5	6114	1,23	0,25	77,73	1,95	1,83	17,57	8,33	53,69	-0,17	S/INF	3102	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
SIMDE ORIENTE	25/11/1980	M-657	ORIENTAL DE VENEZUELA	9,85	24286	0,00	8,23	373,21	18,96	0,21	360,08	0,00	40,15	-0,01	27050	2450	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	07/10/2010	M-658	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	16498,6	0,00	0,39	255,31	3,76	0,00	171,75	0,00	73,09	2,90	26500	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	11/02/1947	M-659	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,05	15096	0,00	1,15	227,45	1,75	2,19	164,53	0,00	63,59	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	09/06/1970	M-660	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,3	32631	0,00	3,21	512,58	41,82	0,00	550,11	0,00	7,65	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
7270	S/INF	M-661	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,5	58,9	0,00	0,08	0,82	0,08	0,24	0,40	0,00	0,20	8,18	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies muy diluida con SDT bajo
7270	S/INF	M-662	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	33,2	0,00	0,00	0,47	0,00	0,00	0,23	0,00	0,24	0,10	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
SIMDE ORIENTE	24/08/1981	M-663	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,51	26796	0,00	5,43	443,63	1,60	0,00	390,07	33,33	27,37	-0,01	37030	2670	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	08/02/1984	M-664	ORIENTAL DE VENEZUELA	9,32	16057,01	0,00	1,40	269,64	2,00	0,00	220,04	39,99	13,11	-0,02	26316	2000	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	26/09/1986	M-665	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,7	18874	0,00	13,99	152,72	159,69	0,00	310,07	0,00	16,39	-0,01	35971	1000	Facies clorurada_cálcica SALINAS
SIMDE ORIENTE	02/02/1988	M-666	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,6	8766	0,00	0,41	138,24	2,59	1,58	120,02	0,00	19,67	-0,01	S/INF	1200	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	17/07/2000	M-667	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,83	138,43	0,00	0,37	1,16	0,67	1,04	1,13	0,00	0,07	-0,65	21,5	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies muy diluida con SDT bajo
Barreto, 2017	S/INF	M-669	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	32049	9,72	15,47	465,43	15,77	0,10	566,95	0,00	5,90	-6,17	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
Barreto, 2017	S/INF	M-670	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	11011	3,07	3,62	132,49	0,80	0,83	101,12	0,00	68,18	-9,72	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
VISDOC MARACAIBO	22/06/1953	M-671	MARACAIBO FALCÓN	8,8	7416	0,00	1,81	108,83	2,20	35,39	59,23	2,40	16,00	-0,08	S/INF	920	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
Barreto, 2017	S/INF	M-672	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	27675	5,52	12,84	365,47	16,57	7,91	423,60	0,00	51,97	-9,40	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
Barreto, 2017	S/INF	M-673	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	25996	6,42	15,96	340,46	20,71	0,10	437,20	0,00	29,57	-9,80	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
Barreto, 2017	S/INF	M-674	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	22804	5,96	13,66	353,46	4,29	7,91	303,64	0,00	49,95	2,15	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies connata con posible filtración
Barreto, 2017	S/INF	M-675	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	28793	7,72	17,53	430,32	23,45	0,85	485,15	0,00	11,05	-1,85	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
Barreto, 2017	S/INF	M-676	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	6348	2,76	6,34	101,09	1,40	8,49	85,61	0,00	6,03	5,41	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
Barreto, 2017	S/INF	M-677	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	11395	2,58	5,18	161,86	5,24	1,83	115,22	0,00	52,97	1,40	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
Barreto, 2017	S/INF	M-678	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	17037	4,09	14,89	217,23	4,99	0,10	230,76	0,00	55,98	-8,64	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
Barreto, 2017	S/INF	M-679	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	14908,01	2,97	10,94	200,48	8,68	0,10	179,25	0,00	57,62	-3,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
Barreto, 2017	S/INF	M-681	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	9309,11	3,27	3,87	113,70	6,04	0,15	83,80	0,00	56,07	-4,92	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Connata muy diluida
Barreto, 2017	S/INF	M-682	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	11177,32	3,63	6,50	183,86	9,03	0,11	142,24	0,00	24,58	9,76	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
Barreto, 2017	S/INF	M-683	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	15335	4,02	7,90	207,44	9,53	0,23	173,75	0,00	64,75	-2,11	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
Barreto, 2017	S/INF	M-684	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	10409	3,50	5,51	131,19	7,09	0,10	103,29	0,00	55,39	-3,76	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
Barreto, 2017	S/INF	M-685	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	8490,03	2,53	4,36	114,79	5,64	0,10	76,92	0,00	46,77	1,40	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Connata muy diluida
Barreto, 2017	S/INF	M-687	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	7369	3,17	3,70	94,61	1,00	0,00	48,20	0,00	54,02	0,13	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
Barreto, 2017	S/INF	M-688	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	9644	3,20	5,02	107,83	9,93	0,10	97,85	0,00	54,18	-9,40	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Connata muy diluida
Barreto, 2017	S/INF	M-689	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	9258,5	2,99	4,03	113,22	3,99	0,20	77,23	0,00	60,02	-5,04	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Connata muy diluida
SIMDE ORIENTE	30/12/1952	M-690	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	3832	0,00	0,91	53,63	0,80	0,25	25,39	4,87	24,81	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
SIMDE ORIENTE	04/07/1988	M-692	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	69,3	0,00	0,00	0,23	0,70	0,00	0,28	0,00	0,66	-0,07	110	40	Facies bicarbonatada_cálcica DULCES
SIMDE ORIENTE	16/05/1955	M-695	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	32658	0,00	13,33	517,19	24,80	0,69	538,74	0,00	16,00	-0,01	S/INF	1698	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
MAR-03802	S/INF	M-698	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1691	0,00	2,88	20,97	0,00	7,79	10,55	0,00	6,98	-2,99	2840	360	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
MAR-03802	S/INF	M-700	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1309	0,00	2,55	14,75	0,00	6,41	8,01	0,00	5,69	-7,52	2057	287	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
MAR-03802	S/INF	M-701	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1366	0,00	1,81	15,75	0,00	7,33	8,29	0,00	5,51	-9,23	2246	284	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
7270	S/INF	M-705	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	51,4	0,00	0,02	0,64	0,02	0,00	0,20	0,00	0,48	0,02	S/INF	24	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
7270	S/INF	M-706	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	63,4	0,00	0,04	0,85	0,04	0,17	0,30	0,00	0,39	3,94	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies meteórica con posible intercambio con el medio
7270	S/INF	M-707	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	44,7	0,00	0,02	0,61	0,02	0,00	0,21	0,00	0,37	5,17	S/INF	23	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
7270	S/INF	M-708	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	61,9	0,00	0,04	0,85	0,04	0,13	0,31	0,00	0,39	5,65	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies meteórica con posible intercambio con el medio
7270	S/INF	M-709	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	68,7	0,00	0,04	0,87	0,06	0,00	0,48	0,00	0,49	-0,01	S/INF	29	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
7270	S/INF	M-710	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,6	69	0,00	0,04	0,92	0,04	0,24	0,32	0,00	0,39	2,69	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies meteórica con posible intercambio con el medio
7270	S/INF	M-711	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	65,3	0,00	0,04	0,81	0,06	0,00	0,42	0,00	0,49	-0,26	S/INF	29	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
7270	S/INF	M-712	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	67,3	0,00	0,04	0,92	0,04	0,19	0,33	0,00	0,39	4,39	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies meteórica con posible intercambio con el medio
7270	S/INF	M-713	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,7	68,4	0,00	0,04	0,92	0,04	0,24	0,30	0,00	0,39	3,59	S/INF	28	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies meteórica con posible intercambio con el medio

REFERENCIA	FECHA	POZO CODIFICADO	CUENCA	pH	SDT (PPM)	K+ (mEQ/L)	Mg2+ (mEQ/L)	Na+ (mEQ/L)	Ca2+ (mEQ/L)	SO4 -- (mEQ/L)	Cl - (mEQ/L)	CO3-- (mEQ/L)	HCO3- (mEQ/L)	% BALANCE IÓNICO	CONDUCTIVIDAD (µohms/cm)	ALCALINIDAD TOTAL (mg/L CaCO3)	facies hidrogeoquímica
SIMDE ORIENTE	28/07/1949	M-714	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,9	1832	0,00	0,08	24,88	0,80	0,12	4,03	7,20	14,39	0,03	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-715	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	30391,2	0,00	9,96	480,61	23,15	0,86	492,20	0,00	20,75	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-716	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	30403,47	0,00	4,63	492,66	14,42	2,21	487,97	0,00	21,73	-0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-717	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	51810	0,00	13,99	774,52	99,51	0,12	880,04	0,00	10,39	-0,14	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-718	ORIENTAL DE VENEZUELA	5,5	152	0,00	0,74	0,87	0,40	0,12	0,28	0,00	1,62	-0,49	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies meteórica con posible intercambio con el medio
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-719	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,2	308	0,00	0,58	2,26	1,70	0,25	2,26	0,00	2,02	0,14	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies muy diluida con SDT bajo
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-720	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,9	598	0,00	0,99	1,70	4,89	0,33	0,34	0,00	6,90	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_cálcica DULCES
SIMDE ORIENTE	11/11/1949	M-721	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,8	34342	0,00	13,33	532,59	39,67	0,21	570,90	0,00	14,60	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	11/02/1950	M-722	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,5	10539	0,00	0,82	163,16	1,90	4,21	130,03	0,00	31,60	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-723	MARACAIBO FALCÓN	7,06	870	0,00	4,77	4,39	3,19	4,16	3,67	0,00	5,20	-2,62	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_magnésica DULCES
VISDOC MARACAIBO	23/06/1951	M-724	MARACAIBO FALCÓN	6,6	1190	0,00	3,79	11,35	2,74	1,96	12,30	0,00	4,88	-3,39	S/INF	238	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	10/12/1951	M-725	MARACAIBO FALCÓN	8,8	1852	0,00	0,16	23,97	0,20	2,48	2,26	3,20	16,39	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	06/10/1951	M-726	MARACAIBO FALCÓN	8	8043	0,00	1,65	143,76	1,25	2,27	111,42	1,60	9,60	8,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	23/09/1954	M-728	MARACAIBO FALCÓN	6,6	100	0,00	0,74	0,13	0,55	0,00	0,79	0,00	0,80	-5,74	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_magnésica DULCES
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	30/10/1951	M-729	MARACAIBO FALCÓN	7,2	467	0,00	0,74	4,05	1,05	0,17	1,07	0,00	4,88	-2,41	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	23/10/1981	M-730	MARACAIBO FALCÓN	9	988	0,00	0,49	14,18	1,30	1,52	7,62	6,40	1,56	-3,39	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica Influenciadas
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	23/10/1951	M-731	MARACAIBO FALCÓN	9	920	0,00	0,49	13,70	1,00	1,42	7,33	4,00	2,15	0,99	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies Dulce Bajo SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	20/11/1951	M-732	MARACAIBO FALCÓN	8,2	782	0,00	0,41	8,57	0,70	0,00	1,35	0,00	8,49	-0,84	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	20/11/1951	M-733	MARACAIBO FALCÓN	8,2	776	0,00	0,41	8,57	0,70	0,00	1,35	0,00	8,39	-0,34	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	30/10/1951	M-734	MARACAIBO FALCÓN	7	775	0,00	0,58	8,35	0,85	0,56	0,90	0,23	8,08	-0,01	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	28/01/1952	M-735	MARACAIBO FALCÓN	7,5	851	0,00	1,40	8,26	0,95	0,12	0,82	0,00	9,67	0,00	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
VISDOC MARACAIBO	19/08/1936	M-736	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	1338	0,00	3,62	17,53	1,15	1,52	18,48	0,00	2,29	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
SIMDE ORIENTE	10/01/1952	M-737	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	32072,6	0,00	14,58	505,36	32,37	1,08	548,61	1,00	1,59	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	01/04/1936	M-738	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,5	11273,6	0,00	0,43	166,94	0,29	0,09	106,62	2,47	58,44	0,01	S/INF	3047	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
INT-8106	S/INF	M-741	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	9545,15541	2,38	0,08	132,74	0,48	0,89	57,04	0,00	70,88	2,60	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
INT-8106	S/INF	M-742	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	697,8	0,08	0,07	10,10	0,20	0,31	7,72	0,00	2,77	-1,65	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies muy diluida con SDT bajo
INT-8106	S/INF	M-743	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,8	12044,9676	5,91	0,69	185,94	1,82	0,87	113,52	0,00	56,18	6,52	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
INT-8106	S/INF	M-745	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,9	6766,63631	3,48	0,11	94,21	0,34	0,56	38,10	0,00	50,46	4,82	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
INT-8106	S/INF	M-746	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	10972,3354	8,20	0,68	168,52	2,23	0,54	114,37	0,00	43,33	6,33	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
SIMDE ORIENTE	02/12/1982	M-747	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,71	10547	0,00	0,99	156,68	1,60	0,00	110,03	0,00	49,17	0,02	S/INF	14925	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
int-15031	S/INF	M-752	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	20,57	0,03	0,03	0,17	0,01	0,02	0,11	0,00	0,16	-9,71	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies mezcla
VOLCÁN, 2015	S/INF	M-753	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	9,19	0,01	0,02	0,11	0,01	0,03	0,12	0,00	0,00	0,66	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica DULCES Subfacies muy diluida con SDT bajo
SIMDE ORIENTE	25/09/1942	M-754	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	30185	0,00	97,02	400,96	35,53	4,33	524,64	0,00	4,39	0,01	S/INF	220	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
INT-8106	S/INF	M-755	ORIENTAL DE VENEZUELA	9	6304,7	0,49	0,05	88,80	0,35	1,00	23,24	0,00	55,14	6,10	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	21/03/1983	M-756	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	8004	0,00	0,82	123,97	1,60	0,60	99,31	0,17	25,52	0,31	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
00766	S/INF	M-757	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	2061,6	0,00	1,74	26,09	0,36	0,15	5,99	0,00	19,89	3,98	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00766	S/INF	M-758	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	7078,9	0,00	1,74	87,60	0,51	0,18	15,44	0,00	73,38	0,48	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00766	S/INF	M-759	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	33981	0,00	21,31	525,37	22,76	0,48	530,28	0,00	38,76	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
00766	S/INF	M-760	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	13257,6	0,00	9,97	194,40	2,30	0,74	143,03	0,00	57,60	1,30	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
00766	S/INF	M-761	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,5	24379,4	0,00	7,73	398,53	3,96	0,88	381,58	0,00	24,15	0,44	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
00766	S/INF	M-762	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,45	496,6	0,00	2,13	3,15	1,68	0,29	1,00	0,00	5,17	3,77	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies mezcla
00766	S/INF	M-763	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,3	28043,8	0,00	9,52	449,41	14,09	0,69	451,09	0,00	21,11	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
00766	S/INF	M-764	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	24815	0,00	1,48	390,61	15,97	1,19	366,68	0,00	39,99	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
00766	S/INF	M-765	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	31875,8	0,00	10,72	514,40	11,06	1,24	503,10	0,00	29,53	0,22	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
00766	S/INF	M-766	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	26491,4	0,00	13,91	429,52	5,85	3,62	431,47	0,00	14,09	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
00766	S/INF	M-767	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	27915	0,00	8,06	440,50	15,97	1,46	428,74	0,00	34,42	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
00766	S/INF	M-768	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,18	6050,3	0,00	2,20	74,51	0,84	0,19	15,90	0,00	60,98	0,31	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00766	S/INF	M-769	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,53	33212,9	0,00	1,94	558,26	3,74	1,61	551,61	0,00	10,60	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies connata con posible filtración
00766	S/INF	M-770	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,15	48568,6	0,00	2,79	824,32	2,48	2,30	813,41	0,00	9,60	0,26	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies connata con posible filtración
00766	S/INF	M-771	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	25151,5	0,00	5,26	411,18	3,54	0,95	392,08	0,00	26,51	0,05	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
00766	S/INF	M-772	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,25	19725	0,00	2,96	316,19	4,99	1,29	288,47	0,00	33,29	0,17	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
00766	S/INF	M-773	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,8	3951,4	0,00	0,55	47,90	0,42	0,43	5,40	0,00	42,99	0,05	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00766	S/INF	M-774	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	30842,5	0,00	23,06	489,39	13,39	1,40	504,61	0,00	17,80	0,19	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
00766	S/INF	M-775	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	9054,3	0,00	0,77	131,16	0,62	0,17	61,06	0,00	63,00	3,24	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00766	S/INF	M-776	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	9333	0,00	0,82	133,71	0,75	0,33	78,72	0,00	56,16	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
00766	S/INF	M-777	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,7	31076,1	0,00	26,46	476,91	21,94	0,63	496,10	0,00	28,39	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
00766	S/INF	M-778	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	30233	0,00	15,06	469,12	24,95	0,52	459,76	0,00	39,99	0,88	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
00766	S/INF	M-779	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,7	34346,5	0,00	22,89	530,17	32,44	1,33	566,11	0,00	17,96	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
00766	S/INF	M-780	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	22637,6	0,00	16,21	342,68	22,61	1,20	357,83	0,00	22,39	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
00766	S/INF	M-781	ORIENTAL DE VENEZUELA	7	32483,2	0,00	21,41	496,77	35,40	2,64	530,34	0,00	19,08	0,14	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
00766	S/INF	M-782	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	31948,3	0,00	19,26	488,55	24,94	1,05	529,53	0,00	18,99	-1,55	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
00766	S/INF	M-783	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,5	1994,2	0,00	1,24	25,42	0,42	0,30	8,20	0,00	17,71	1,61	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00766	S/INF	M-784	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,65	3479	0,00	0,91	41,93	1,00	0,31	6,29	0,00	36,81	0,49	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00766	S/INF	M-785	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	3408	0,00	0,49	42,93	0,45	0,37	10,24	0,00	33,19	0,08	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00766	S/INF	M-786	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,3	7311,8	0,00	0,93	102,78	1,61	0,66	37,46	0,00	58,12	4,51	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con posible intercambio con el medio y SDT de medio a alta
00766	S/INF	M-787	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,8	5487,2	0,00	1,14	79,33	1,33	2,10	38,53	0,00	35,33	3,69	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
00766	S/INF	M-788	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,5	1167,3	0,00	1,11	15,54	0,45	0,98	4,40	0,00	9,58	6,67	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-789	ORIENTAL DE VENEZUELA	7	509	0,00	1,97	2,78	2,20	0,21	1,10	0,00	5,38	1,98	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies mezcla
00766	S/INF	M-790	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	31281	0,00	11,00	524,84	2,52	1,43	529,61	0,00	3,05	0,40	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
VISDOC MARACAIBO	20/03/1938	M-796	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	19375	0,00	2,63	314,62	0,95	0,85	283,47	2,00	31,79	0,01	S/INF	1600	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Dulce con Alta SDT
00767	S/INF	M-797	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,85	3285	0,00	0,58	41,37	0,45	0,33	10,30	0,00	31,75	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-798	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	3204,3	0,00	1,32	40,90	0,72	1,62	3,04	0,00	33,57	5,81	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-799	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,3	1545,6	0,00	0,55	19,08	0,65	1,58	2,60	0,00	15,07	2,61	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-800	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	1194,1	0,00	1,34	14,18	0,72	2,82	2,48	0,00	10,06	2,81	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-801	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	1275,4	0,00	0,00	18,62	0,32	0,00	7,19	0,00	9,60	5,99	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-802	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,41	4854,3	0,00	2,33	60,09	0,52	1,02	13,30	0,00	47,75	0,69	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-804	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,6	1926	0,00	0,33	25,62	0,20	0,17	9,39	0,00	16,19	0,77	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-805	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,78	1740,3	0,00	1,46	21,58	0,75	0,73	5,10	0,00	16,32	3,60	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-806	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	3836,4	0,00	1,28	45,92	0,78	0,15	6,80	0,00	40,99	0,04	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-807	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	5589,1	0,00	3,92	66,78	0,56	0,72	8,10	0,00	60,20	1,60	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-808	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	3056,5	0,00	0,36	40,35	0,42	0,87	12,40	0,00	26,79	1,32	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-809	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,6	2878	0,00	0,58	38,02	0,20	0,25	12,41	0,00	25,26	1,14	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-810	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,7	4172	0,00	0,58	52,59	1,00	0,60	13,51	0,00	39,79	0,24	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-811	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,7	2078	0,00	0,74	25,92	0,30	0,31	5,81	0,00	20,42	0,79	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-812	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,55	3043	0,00	0,25	39,71	0,40	0,52	10,61	0,00	28,16	1,35	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-813	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,3	2942	0,00	0,25	37,76	0,40	0,33	10,69	0,00	27,34	0,05	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-814	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,9	2170	0,00	0,16	27,40	0,40	0,21	6,77	0,00	20,98	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-815	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	2381,1	0,00	0,12	30,19	0,28	0,31	7,05	0,00	23,19	0,06	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-816	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	16124,6	0,00	1,88	258,92	0,72	1,56	226,80	0,00	33,09	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
00767	S/INF	M-817	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,5	6413,7	0,00	0,77	82,28	0,78	1,45	12,70	0,00	65,18	2,75	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-818	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	1309,9	0,00	3,06	12,89	0,82	0,40	2,24	0,00	14,12	0,05	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-819	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	2959,52	0,00	1,36	36,81	0,40	0,21	6,36	0,00	30,37	2,15	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-820	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	5091,2	0,00	3,06	60,72	0,77	0,85	11,00	0,00	52,64	0,04	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-821	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,52	3243,1	0,00	1,13	42,85	0,68	3,33	6,10	0,00	30,39	5,72	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-822	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	6049,8	0,00	0,49	75,10	0,88	1,72	13,30	0,00	61,38	0,04	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-823	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	11886,7	0,00	2,00	155,21	2,43	0,54	57,91	0,00	101,06	0,04	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALINAS Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-824	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	2488,7	0,00	1,29	32,72	0,31	1,47	3,25	0,00	25,06	7,10	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-825	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,8	3053,7	0,00	0,39	41,41	0,31	1,24	11,73	0,00	26,47	3,28	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
00767	S/INF	M-826	ORIENTAL DE VENEZUELA	8	4653,3	0,00	1,24	57,36	1,15	3,61	8,28	0,00	46,37	1,27	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
SIMDE ORIENTE	05/01/1986	M-827	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,1	27374	0,00	11,03	433,37	25,95	0,00	450,09	0,00	13,11	0,77	42000	800	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
SIMDE SUR 2	08/11/1957	M-828	BARINAS APURE	7,5	5260	0,00	5,84	58,68	14,37	7,33	45,13	0,00	26,22	0,13	S/INF	S/INF	CLORURADA + SULFATADA SÓDICA SALOBRE

REFERENCIA	FECHA	POZO CODIFICADO	CUENCA	pH	SDT (PPM)	K+ (mEQ/L)	Mg2+ (mEQ/L)	Na+ (mEQ/L)	Ca2+ (mEQ/L)	SO4 -- (mEQ/L)	Cl - (mEQ/L)	CO3-- (mEQ/L)	HCO3- (mEQ/L)	% BALANCE IÓNICO	CONDUCTIVIDAD (µohms/cm)	ALCALINIDAD TOTAL (mg/L CaCO3)	facies hidrogeoquímica
SIMDE SUR 2	08/11/1957	M-829	BARINAS APURE	7,1	4268	0,00	3,21	49,50	15,97	6,68	34,55	0,00	20,08	5,67	S/INF	S/INF	CLORURADA SÓDICA DILUIDA SALOBRE
SIMDE ORIENTE	04/12/1953	M-832	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,5	12525	0,00	1,23	192,39	3,19	1,73	155,13	0,00	39,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	04/11/2005	M-833	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,8	6220,25	0,00	0,00	102,80	1,54	0,00	95,51	0,67	6,88	0,62	20400	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Connata muy diluida
7407	S/INF	M-834	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	6111,1656	0,00	8,00	88,00	2,00	0,20	57,00	3,00	30,00	4,15	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
7407	S/INF	M-835	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	6111,8926	0,00	8,00	88,00	2,04	0,20	57,00	3,00	30,00	4,17	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
SIMDE SUR 2 CORELAB	15/11/2001	M-836	BARINAS APURE	8,7	461	0,41	0,08	5,79	1,10	5,16	0,48	0,23	0,28	9,02	S/INF	S/INF	sulfatada_sódica DULCES
SIMDE SUR 2 CORELAB	10/04/1967	M-846	BARINAS APURE	7,26	2295	0,00	25,84	4,83	5,49	6,62	20,34	0,00	11,82	-3,49	S/INF	S/INF	CLORURADA MAGNÉSICA SALOBRE
VISDOC MARACAIBO	23/04/1990	M-848	MARACAIBO FALCÓN	8,58	6147,5	0,00	0,91	86,60	1,15	2,61	46,06	2,43	37,55	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	20/08/1993	M-849	MARACAIBO FALCÓN	7,02	46608	0,00	35,80	683,48	86,78	9,04	795,67	0,00	1,28	0,00	S/INF	7,71	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
VISDOC MARACAIBO	04/07/1980	M-850	MARACAIBO FALCÓN	6,9	59634,7	0,00	197,49	223,43	668,70	2,04	1085,94	0,00	1,64	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_cálcica SALMUERAS
VISDOC MARACAIBO	25/09/1989	M-851	MARACAIBO FALCÓN	8,8	4701,1	0,00	0,13	64,45	0,13	2,97	16,92	8,40	36,39	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	10/11/1959	M-852	MARACAIBO FALCÓN	7,9	13246	0,00	1,97	199,83	4,79	17,95	150,20	0,00	38,43	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	S/INF	M-853	MARACAIBO FALCÓN	6,6	3655	0,00	1,56	50,50	8,78	6,39	52,04	0,00	2,41	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Connata
VISDOC MARACAIBO	S/INF	M-854	MARACAIBO FALCÓN	7,9	10494	0,00	1,97	152,76	6,79	22,74	108,03	0,00	31,14	-0,12	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
VISDOC MARACAIBO	S/INF	M-855	MARACAIBO FALCÓN	7,9	9632	0,00	1,97	139,76	6,39	15,97	100,13	0,00	31,96	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	S/INF	M-856	MARACAIBO FALCÓN	6,7	3565	0,00	5,18	48,11	5,59	7,20	49,93	0,00	2,75	-0,84	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
7407	S/INF	M-857	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	8638,3504	0,00	40,00	103,00	2,00	0,80	129,99	2,00	17,00	-1,62	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
SIMDE ORIENTE	24/06/1960	M-858	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,8	11653	0,00	0,82	181,43	3,39	1,15	150,03	2,40	32,09	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
SIMDE SUR 2 CORELAB	15/11/2001	M-862	BARINAS APURE	8,6	568	0,00	0,25	7,70	1,40	1,19	4,17	0,23	2,43	7,62	S/INF	S/INF	clorurada_sódica DULCES
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	16/01/1992	M-863	BARINAS APURE	S/INF	3240,03	0,00	0,40	53,90	1,30	0,00	3,38	43,33	9,01	-0,11	S/INF	S/INF	BICARBONATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	16/01/1992	M-864	BARINAS APURE	S/INF	2770,17	0,00	0,40	48,99	0,70	0,00	3,52	43,33	3,28	-0,04	S/INF	S/INF	BICARBONATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	16/01/1992	M-865	BARINAS APURE	S/INF	1836,83	0,00	0,40	27,71	1,00	0,21	3,24	16,66	9,01	-0,04	S/INF	S/INF	BICARBONATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 CARPETA DE POZO	16/01/1992	M-866	BARINAS APURE	S/INF	2917,97	0,00	0,70	44,08	1,30	0,31	4,37	26,66	14,75	-0,02	S/INF	S/INF	BICARBONATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 SOCONY-VACUUM OIL Co	13/11/1963	M-873	BARINAS APURE	5,5	11110	0,00	5,18	138,37	31,59	0,69	101,54	0,00	59,00	4,13	S/INF	S/INF	CLORURADA + BICARBONATADA SÓDICA MUY DILUIDA SALINA
SIMDE SUR 2 SOCONY-VACUUM OIL Co	07/01/1964	M-874	BARINAS APURE	S/INF	10578	0,00	6,01	133,41	30,79	0,44	95,90	0,00	55,72	5,63	S/INF	S/INF	CLORURADA + BICARBONATADA SÓDICA MUY DILUIDA SALINA
SIMDE SUR 2 SOCONY-VACUUM OIL Co	03/11/1963	M-876	BARINAS APURE	7,5	17284	0,00	2,80	222,88	46,81	1,83	156,55	0,00	90,96	4,44	S/INF	S/INF	CLORURADA + BICARBONATADA SÓDICA MUY DILUIDA SALINA
VISDOC MARACAIBO	08/11/1981	M-878	MARACAIBO FALCÓN	7,1	57850	0,00	26,00	596,92	383,85	0,85	990,10	0,00	16,00	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
VISDOC MARACAIBO	10/10/1952	M-879	MARACAIBO FALCÓN	8,5	3365	0,00	0,16	42,63	0,75	0,79	12,13	0,00	31,14	-0,59	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies connata muy diluida
SIMDE SUR 2 SOCONY-VACUUM OIL Co	21/02/1946	M-880	BARINAS APURE	7,4	698	0,00	1,73	6,09	2,89	1,35	5,84	0,00	3,39	0,60	S/INF	S/INF	clorurada_sódica DULCES
SIMDE SUR 2 SOCONY-VACUUM OIL Co	21/02/1946	M-881	BARINAS APURE	S/INF	698	0,00	1,73	6,09	2,89	1,35	5,84	0,00	3,39	0,60	S/INF	S/INF	clorurada_sódica DULCES
SIMDE SUR 2 SOCONY-VACUUM OIL Co	12/06/1957	M-893	BARINAS APURE	7,5	6800	0,00	5,60	68,73	19,96	7,33	62,05	0,00	36,06	-5,59	S/INF	S/INF	CLORURADA SÓDICA DILUIDA SALOBRE
SIMDE SUR 2 SOCONY-VACUUM OIL Co	13/06/1957	M-894	BARINAS APURE	7,1	3849	0,00	4,11	48,89	3,89	4,10	33,85	0,00	19,67	-0,63	S/INF	S/INF	CLORURADA + SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 SOCONY-VACUUM OIL Co	13/06/1957	M-895	BARINAS APURE	7,3	7105	0,00	6,42	74,60	18,76	7,00	64,87	0,00	37,69	-4,67	S/INF	S/INF	CLORURADA + SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 SOCONY-VACUUM OIL Co	13/06/1957	M-896	BARINAS APURE	6,9	7052	0,00	6,01	73,64	17,96	6,79	64,87	0,00	37,69	-5,67	S/INF	S/INF	CLORURADA + SULFATADA SÓDICA SALOBRE
SIMDE SUR 2 CORELAB	15/11/2001	M-905	BARINAS APURE	8,9	293	0,00	0,08	3,96	0,85	0,31	2,28	0,23	1,33	8,08	S/INF	S/INF	clorurada_sódica DULCES
SIMDE SUR 2 CORELAB	27/11/2001	M-906	BARINAS APURE	7,9	932	1,74	0,41	7,96	2,00	0,90	8,29	0,17	4,82	-7,86	S/INF	S/INF	clorurada_sódica DULCES
SIMDE SUR 2 CORELAB	15/11/2001	M-908	BARINAS APURE	9,1	442	1,10	0,08	3,96	2,15	0,44	3,24	0,43	1,88	9,69	S/INF	S/INF	clorurada_sódica DULCES
SIMDE ORIENTE	08/10/1956	M-914	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	15337	0,00	2,96	244,81	2,30	0,35	220,01	0,00	29,66	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	28/07/1947	M-915	ORIENTAL DE VENEZUELA	6	5624	0,00	0,33	75,99	1,25	2,58	31,87	0,00	42,51	0,39	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	03/01/1989	M-916	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,38	15054,55	0,00	0,79	226,59	9,38	20,15	177,62	0,00	39,05	-0,01	24000	1953	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
VISDOC MARACAIBO	17/10/1957	M-917	MARACAIBO FALCÓN	6	115154	0,00	41,97	1592,50	487,05	4,00	1915,72	0,00	2,67	4,92	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
VISDOC MARACAIBO	17/10/1957	M-918	MARACAIBO FALCÓN	7,1	32990	0,00	20,00	476,13	51,90	18,05	491,30	0,00	40,58	-0,17	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
VISDOC MARACAIBO	17/10/1957	M-919	MARACAIBO FALCÓN	6,2	86910	0,00	47,97	1103,32	355,31	6,75	1486,42	0,00	13,44	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
VISDOC MARACAIBO	S/INF	M-920	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	2452	0,00	0,49	29,10	0,65	0,00	3,16	1,50	26,34	-1,23	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	20/04/1956	M-921	MARACAIBO FALCÓN	8,7	7200	0,00	2,14	98,74	0,50	0,00	26,97	19,36	55,02	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
SIMDE ORIENTE	17/01/1952	M-922	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,3	7255,9	0,00	1,53	103,60	1,42	0,72	54,51	8,64	42,62	0,03	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	12/01/2005	M-923	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,3	13296,2	1,56	0,35	206,61	1,80	1,25	171,18	0,17	37,87	-0,04	20000	1894	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
int-09273	S/INF	M-924	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	24433	2,81	4,85	426,28	13,92	2,62	330,01	0,33	38,50	9,32	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
int-09273	S/INF	M-925	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	23730	2,51	3,70	408,88	11,28	3,33	313,09	0,33	44,10	8,32	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata muy diluida
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	29/07/1977	M-926	MARACAIBO FALCÓN	7,9	4117	0,00	1,15	60,94	0,20	3,12	40,90	0,00	18,00	0,22	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-927	MARACAIBO FALCÓN	7,9	4785	0,00	0,08	68,42	0,85	0,48	34,41	2,00	30,99	1,07	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-928	MARACAIBO FALCÓN	7,6	1347	0,00	1,81	15,83	0,40	0,21	0,85	4,00	13,00	-0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	03/11/1982	M-929	MARACAIBO FALCÓN	6,1	15960	0,00	8,23	198,61	31,94	1,52	152,20	0,00	84,98	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	18/05/1953	M-930	MARACAIBO FALCÓN	7,3	11560	0,00	1,97	146,33	3,49	0,85	40,90	3,20	106,77	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALINAS Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	11/07/1955	M-931	MARACAIBO FALCÓN	9,3	5531	0,00	1,40	70,38	2,00	7,70	14,10	6,00	45,99	-0,01	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	09/04/1954	M-932	MARACAIBO FALCÓN	7,4	10028	0,00	1,65	126,49	3,09	0,08	34,13	3,00	93,97	0,02	S/INF	10135	Facies bicarbonatada_sódica SALINAS Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	S/INF	M-934	MARACAIBO FALCÓN	7,4	10346	0,00	2,55	132,45	4,19	1,21	47,95	2,00	87,98	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALINAS Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	22/10/1982	M-935	MARACAIBO FALCÓN	8,16	3299	0,00	0,25	46,76	0,75	16,86	19,41	0,00	11,60	-0,12	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	22/10/1982	M-936	MARACAIBO FALCÓN	8,24	4828	0,00	0,58	74,38	1,00	10,74	54,92	0,00	10,29	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	04/11/1955	M-937	MARACAIBO FALCÓN	7,4	8428	0,00	0,33	109,57	1,30	1,29	34,69	0,00	75,18	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	04/11/1955	M-938	MARACAIBO FALCÓN	7,7	9342	0,00	0,41	125,71	1,20	1,44	51,90	0,00	73,98	0,00	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
PGO FALCON CENTRO-OCCIDENTAL	04/02/1955	M-939	MARACAIBO FALCÓN	7,2	11418	0,00	0,58	156,42	2,99	0,77	77,99	0,00	81,17	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALINAS Subfacies connata muy diluida
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-940	ORIENTAL DE VENEZUELA	10	12997	0,00	0,74	189,39	1,45	45,16	65,02	33,99	50,99	-0,93	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALINAS Subfacies dulce con posible intercambio con el medio y SDT de medio a alta
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-941	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,57	27109	0,00	13,41	369,69	82,14	0,98	452,60	0,00	11,60	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-942	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,82	60172	0,00	24,27	821,63	192,37	0,35	1025,22	0,00	12,60	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-943	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,96	24002	0,00	7,90	369,51	29,39	1,87	390,07	0,00	14,80	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
VISDOC MARACAIBO	30/04/1992	M-950	MARACAIBO FALCÓN	8,33	4264,93	0,00	0,20	54,47	0,24	1,10	10,01	2,40	41,39	0,01	S/INF	2191,2	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	20/05/1996	M-952	MARACAIBO FALCÓN	6,8	41429,73	6,09	31,10	543,08	134,14	11,79	695,79	0,00	6,66	0,01	S/INF	333	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	04/10/1959	M-953	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	4139	0,00	0,99	58,77	0,50	6,31	32,41	0,00	21,54	0,00	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
VISDOC MARACAIBO	23/04/1977	M-954	MARACAIBO FALCÓN	7,6	3294	0,00	3,62	51,37	1,20	4,18	52,01	0,00	0,00	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	18/10/1954	M-955	MARACAIBO FALCÓN	8	2999	0,00	0,33	37,71	2,10	0,83	11,28	2,00	25,99	0,04	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies connata muy diluida
VISDOC MARACAIBO	17/07/1985	M-956	MARACAIBO FALCÓN	8,6	4204	0,00	0,16	55,24	0,25	9,06	9,76	3,20	33,60	0,04	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
SIMDE ORIENTE	22/12/1955	M-957	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,2	18556	0,00	3,04	297,35	7,98	1,06	284,88	0,00	22,49	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	07/01/1955	M-958	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,4	5432	0,00	0,49	67,29	0,80	0,65	7,33	4,00	56,57	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
VISDOC MARACAIBO	10/12/1948	M-959	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	6606	0,00	0,25	93,87	2,79	6,66	52,46	3,27	34,60	-0,04	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
VISDOC MARACAIBO	20/06/1952	M-960	MARACAIBO FALCÓN	9	4659	0,00	0,33	66,20	0,95	2,04	21,27	14,00	30,19	-0,01	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	14/12/2004	M-961	MARACAIBO FALCÓN	8,29	12856,95	0,00	10,01	185,17	9,98	0,36	165,57	0,00	39,19	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	S/INF	M-962	MARACAIBO FALCÓN	8,2	6228	0,00	0,41	88,43	4,59	15,26	55,00	0,00	23,19	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
VISDOC MARACAIBO	01/04/1966	M-963	MARACAIBO FALCÓN	8,2	6186	0,00	0,33	84,52	0,95	1,48	38,92	0,00	45,38	0,01	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	31/05/1956	M-964	MARACAIBO FALCÓN	8	5659	0,00	0,41	80,69	0,85	4,58	45,24	0,00	32,09	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	14/04/1994	M-965	MARACAIBO FALCÓN	8,41	3687,79	0,00	0,32	50,91	0,28	0,50	10,01	12,00	28,99	0,00	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	14/04/1994	M-966	MARACAIBO FALCÓN	8,45	5132,29	0,00	0,33	77,52	0,20	1,00	38,05	14,00	24,99	0,00	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con mezcla en Piper
VISDOC MARACAIBO	23/08/1957	M-967	MARACAIBO FALCÓN	7,4	3768	0,00	0,66	51,11	4,39	2,08	35,26	0,00	18,80	0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES subfacies connata diluida
VISDOC MARACAIBO	07/06/1958	M-968	MARACAIBO FALCÓN	8,3	7327	0,00	0,41	97,04	1,30	1,35	36,67	0,00	60,64	0,05	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	28/11/1996	M-969	MARACAIBO FALCÓN	8,2	4953,7	0,00	0,19	65,04	0,78	0,09	20,87	0,00	44,19	0,65	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies connata muy diluida
VISDOC MARACAIBO	14/11/1991	M-970	MARACAIBO FALCÓN	8,4	7962,28	0,00	0,64	106,30	0,88	0,00	40,05	2,00	65,77	0,00	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
int-15061, NTE-01971 y INT 15102	S/INF	M-971	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	4311,3	2,89	0,61	72,16	1,25	1,29	65,69	0,33	1,74	5,38	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
int-15061, NTE-01971 y INT 15102	S/INF	M-973	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	4951,1	3,73	0,62	70,38	3,14	1,05	61,07	0,33	14,60	0,53	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
int-15061 y INT 15102	S/INF	M-974	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	4628,67	2,61	0,44	67,03	2,00	1,32	38,70	0,00	24,67	5,41	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
SIMDE ORIENTE	04/11/1946	M-977	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	4519	0,00	0,49	58,68	0,50	2,10	17,91	0,00	39,63	0,02	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
SIMDE ORIENTE	12/04/1954	M-978	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,25	15380	0,00	0,82	237,24	1,20	2,73	163,60	8,00	60,98	0,83	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies de intercambio iónico
VISDOC MARACAIBO	S/INF	M-979	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	629	0,00	0,08	7,53	0,45	0,00	0,31	1,20	6,54	0,04	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
VISDOC MARACAIBO	28/11/1990	M-980	MARACAIBO FALCÓN	S/INF	3067,64	0,00	0,16	38,63	0,20	1,18	7,05	0,00	30,60	0,22	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies Dulce con Alta SDT
VISDOC MARACAIBO	21/06/1958	M-981	MARACAIBO FALCÓN	6,7	53145	0,00	34,23	742,94	144,92	0,10	919,53	0,00	2,29	0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	29/06/2009	M-982	ORIENTAL DE VENEZUELA	9,45	14323,7	0,00	0,39	238,55	0,64	0,00	218,37	6,67	14,42	0,03	S/INF	980	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
7407	S/INF	M-983	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	5591,6854	0,00	10,00	76,00	2,00	0,30	51,00	1,00	30,00	3,35	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies mezcla
7407	S/INF	M-984	ORIENTAL DE VENEZUELA	S/INF	10539,7068	0,00	0,00	170,00	2,00	2,10	146,99	4,00	19,00	-0,02	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies mezcla
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-985	ORIENTAL DE VENEZUELA	6,2	461	0,00	0,41	4,00	1,20	0,00	0,11	0,00	5,51	-0,08	S/INF	220	Facies bicarbonatada_sódica DULCES Subfacies Meteórica
SIMDE ORIENTE	18/11/1965	M-986	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,3	8173	0,00	0,58	119,36	0,90	2,52	70,01	4,00	43,94	0,15	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies de intercambio iónico
SIMDE ORIENTE	22/02/1983	M-987	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,97	336722	0,00	1079,78	0,00	5509,26	0,00	6001,18	6,67	3,93	4,58	S/INF	440	Facies clorurada_cálcica SALMUERAS
SIMDE ORIENTE	18/07/1966	M-988	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,3	26144	0,00	2,39	418,97	22,16	1,79	430,09	0,40	11,36	-0,01	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata
SIMDE ORIENTE	01/04/1986	M-989	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,72	9647,46	0,00	2,96	152,40	1,00	1,97	118,04	13,40	23,05	-0,03	S/INF	S/INF	Facies clorurada_sódica SALOBRES Subfacies Connata muy diluida
SIMDE ORIENTE	27/08/1986	M-990	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,7	18146	0,00	2,96	295,00	4,99	0,00	280,03	3,33	19,67	-0,01	34000	1300	Facies clorurada_sódica SALINAS Subfacies Connata diluida
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-991	ORIENTAL DE VENEZUELA	8,5	3078	0,00	0,99	40,41	1,65	1,54	19,74	0,00	21,80	-0,04	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto
SIMDE ORIENTE	S/INF	M-992	ORIENTAL DE VENEZUELA	7,9	10255	0,00	1,23	122,40	2,79	3,96	11,28	0,00	111,12	0,03	S/INF	S/INF	Facies bicarbonatada_sódica SALINAS Subfacies dulce con SDT de medio a alto
Hernández y Sánchez, 2004	18/07/1981	M-993	ORIENTAL DE

ANEXO C. EJEMPLOS DE ARCHIVOS BASE UTILIZADOS EN LAS SIMULACIONES FISICOQUÍMICAS DE LA INVESTIGACIÓN.

ANEXO B. EJEMPLOS TIPO DE LAS SIMULACIONES TERMODINÁMICAS REALIZADAS
Casos de estudio
CASO 1. EVIDENCIAS DE MUESTRAS BICARBONATADAS SÓDICAS A 15.000 PIES (~5.000 METROS) DE PROFUNDIDAD
ESCENARIO 1.

```
TITLE Caso 1 - Aguas Bicarbonatadas a 15000 pies
Escenario 1: Mezclas Directas (M-893 + M-1002)
# --- PASO 1: DEFINIR EL AGUA CONNATA ORIGINAL ---
solution 1. Aguas Clorurada sódica CBA (Muestra M-893)
   temp 102.0
   pH 7.5
   pe -4.0 # <-- pE ASIGNADO POR PROFUNDIDAD (M-893)
   units ppm
   Ca 400
   Mg 68
   Na 1580
   K 0
   Cl 2200
   C(4) 2200 as HCO3
   S(6) 352 as SO4-2
save solution 1
# --- PASO 2: precipitar los minerales que se encuentran sobresaturados ---
EQUILIBRIUM_PHASES 1
   Calcite      0.0   10.0
   Dolomite     0.0   10.0
SAVE equilibrium_phases 1
END

# --- PASO 3: DEFINIR EL AGUA METEORICA ---
```

```
SOLUTION 2 Aguas Bicarbonatada sódica (Muestra M-1002)
   temp 37.0
   pH 7.0
   pe 7.0
   units ppm
   Ca 6.1
   Mg 1.8
   Na 109.7
   K 69.9
   Cl 3
   C(4) 418 as HCO3
   S(6) 0.2 as SO4-2
SAVE solution 2
END

# --- PASO 4: mezclar las aguas ---
USE equilibrium_phases 1
USE solution 2
MIX 1
   1 0.1
   2 0.9
SAVE solution 3
END

USE equilibrium_phases 1
USE solution 2
MIX 2
   1 0.5
   2 0.5
SAVE solution 4
END

USE equilibrium_phases 1
USE solution 2
MIX 3
   1 0.9
```

```
   2 0.1
SAVE solution 5
END
ESCENARIO 2.
TITLE Caso 1 - Aguas Bicarbonatadas a 15000 pies
#Escenario 2: Contacto Progresivo con calcita (M-893)#
# --- PASO 1: DEFINIR EL AGUA CONNATA ORIGINAL ---
solution 1. Aguas Clorurada sódica CBA (Muestra M-893)
   temp 102.0
   pH 7.5
   pe -4.0 # <-- pE ASIGNADO POR PROFUNDIDAD (M-893)
   units ppm
   Ca 400
   Mg 68
   Na 1580
   K 0
   Cl 2200
   C(4) 2200 as HCO3
   S(6) 352 as SO4-2
save solution 1
# --- PASO 2: precipitar los minerales que se encuentran sobresaturados ---
use solution 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
   Calcite     0.0   10.0
   Dolomite    0.0   10.0
SAVE solution 2
# --- PASO 3: reaccionar con calcita en el yacimiento ---

use solution 2
REACTION 1
   Calcite 0.01
SAVE solution 3

use solution 2
REACTION 2
   Calcite 0.1
```

```
SAVE solution 4
END

use solution 2
REACTION 3
   Calcite 1
SAVE solution 5
END

ESCENARIO 3.
TITLE Caso 1 - - Aguas Bicarbonatadas a 15000 pies
#Escenario 3: Mezcla Meteórica y luego equilibrio con calcita #
# --- PASO 1: DEFINIR EL AGUA CONNATA ORIGINAL ---
solution 1. Aguas Clorurada sódica CBA (Muestra M-893)
   temp 102.0
   pH 7.5
   pe -4.0 # <-- pE ASIGNADO POR PROFUNDIDAD (M-893)
   units ppm
   Ca 400
   Mg 68
   Na 1580
   K 0
   Cl 2200
   C(4) 2200 as HCO3
   S(6) 352 as SO4-2
save solution 1
# --- PASO 2: precipitar los minerales que se encuentran sobresaturados ---
EQUILIBRIUM_PHASES 1
   Calcite      0.0   10.0
   Dolomite     0.0   10.0
SAVE equilibrium_phases 1
END

# --- PASO 3: DEFINIR EL AGUA METEORICA ---
SOLUTION 2 Aguas Bicarbonatada sódica (Muestra M-1002)
   temp 37.0
```

```
   pH 7.0
   pe 7.0
   units ppm
   Ca 6.1
   Mg 1.8
   Na 109.7
   K 69.9
   Cl 3
   C(4) 418 as HCO3
   S(6) 0.2 as SO4-2
SAVE solution 2
END

# --- PASO 4: mezclas ---

USE equilibrium_phases 1
USE solution 2
MIX 1
   1 0.1
   2 0.9
SAVE solution 3
END

USE equilibrium_phases 1
USE solution 2
MIX 1
   1 0.5
   2 0.5
SAVE solution 4
END

USE equilibrium_phases 1
USE solution 2
MIX 1
   1 0.9
   2 0.1
```

```
SAVE solution 5
END

# --- PASO 5: mezclas En contacto ahora con la calcita #
use solution 3
REACTION 1
   Calcite 0.1
SAVE solution 6
END

use solution 4
REACTION 2
   Calcite 0.1
SAVE solution 7
END

use solution 5
REACTION 3
   Calcite 0.1
SAVE solution 8
END
ESCENARIO 4.
TITLE Caso 1 - Aguas Bicarbonatadas a 15000 pies
#Escenario 4: Intercambio Cationico en Arcillas, que luego esta en mezcla con agua meteórica#
# --- PASO 1: DEFINIR EL AGUA CONNATA ORIGINAL ---
solution 1. Aguas Clorurada sódica CBA (Muestra M-893)
   temp 102.0
   pH 7.5
   pe -4.0 # <-- pE ASIGNADO POR PROFUNDIDAD (M-893)
   units ppm
   Ca 400
   Mg 68
   Na 1580
   K 0
   Cl 2200
   C(4) 2200 as HCO3
```

```
   S(6) 352 as SO4-2
save solution 1
# --- PASO 2: DEFINIR EL AGUA METEORICA ---
SOLUTION 2 Aguas Bicarbonatada sódica (Muestra M-1002)
   temp 37.0
   pH 7.0
   pe 7.0
   units ppm
   Ca 6.1
   Mg 1.8
   Na 109.7
   K 69.9
   Cl 3
   C(4) 418 as HCO3
   S(6) 0.2 as SO4-2
SAVE solution 2
# --- PASO 3: precipitar los minerales que se encuentran sobresaturados ---
use solution 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
   Calcite      0.0   10.0
   Dolomite     0.0   10.0
SAVE solution 3
end
# --- PASO 4: equilibrar con las arcillas ---
use solution 3
EXCHANGE 1 #Arcillas de formacion#
   equilibrate with solution 3
   X 1  # Capacidad de Intercambio Cationico (Moles)
SAVE solution 4
end

# --- PASO 5: mezclas ---

MIX 1  # Mezcla 10% Connata, 90% Meteórica
   4    0.1
   2    0.9
```

```
SAVE solution 5
END

MIX 2  # Mezcla 50/50
   4    0.5
   2    0.5
SAVE solution 6
END

MIX 3  # Mezcla 90% Connata, 10% Meteórica
   4    0.9
   2    0.1
SAVE solution 7
END
ESCENARIO 5.
TITLE Caso 1 - Aguas Bicarbonatadas a 15000 pies
#Escenario 5: Diagénesis Esmectita a Illita (Soterramiento)#
# --- PASO 1: DEFINIR EL AGUA CONNATA ORIGINAL ---
solution 1. Aguas Clorurada sódica CBA (Muestra M-893)
   temp 102.0
   pH 7.5
   pe -4.0 # <-- pE ASIGNADO POR PROFUNDIDAD (M-893)
   units ppm
   Ca 400
   Mg 68
   Na 1580
   K 0
   Cl 2200
   C(4) 2200 as HCO3
   S(6) 352 as SO4-2
save solution 1
end
use solution 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
# --- PASO 2: precipitar los minerales que se encuentran sobresaturados ---
   Calcite      0.0   10.0
```

```
   Dolomite     0.0   10.0
SAVE solution 2
end
# --- PASO 3: precipitar los minerales que se encuentran sobresaturados ---
USE solution 2
REACTION 1
   H2O 55.5
   Na  0.016
   Ca -0.008
0.1 moles
SAVE solution 3
END
ESCENARIO 6.
title Caso 1. Aguas Bicarbonatadas a 15000 pies
#Hipotesis Diagenetica E6: Deshidratacion de Esmectita a Illita a 15000 pies + Mezcla con meteórica#

# --- PASO 1: AGUA CONNATA ORIGINAL ---
SOLUTION 1 Agua Connata (Muestra M-893)
   temp 102.0
   pH 7.5
   pe         -4 # <-- pE ASIGNADO POR PROFUNDIDAD (M-893)
   units ppm
   Ca         400
   Mg         68
   Na         1580
   K          0
   Cl         2200
   C(4)       2200 as HCO3
   S(6)       352 as SO4-2
SAVE solution 1
END
use solution 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
   Calcite      0.0   10.0
   Dolomite     0.0   10.0
SAVE equilibrium_phases 1
```

```
END

# --- PASO 2: INYECCION DEL FLUIDO DIAGENETICO ---
USE equilibrium_phases 1
REACTION 1
   H2O     55.5

   # 2. Aporte de Sodio de la arcilla + Bicarbonato por maduracion organica
   Na  0.0019
   Ca -0.00085

1 moles
SAVE solution 2
END

# --- PASO 3: DEFINIR EL AGUA METEORICA ---
SOLUTION 3 Aguas Bicarbonatada sodica (Muestra M-1002)
   temp 37.0
   pH 7.0
   pe         7 # <-- pE ASIGNADO POR PROFUNDIDAD (M-1002)
   units ppm
   Ca         6.1
   Mg         1.8
   Na         109.7
   K          69.9
   Cl         3
   C(4)       418 as HCO3
   S(6)       0.2 as SO4-2
SAVE solution 3
END

# --- PASO 4: MEZCLAR EL AGUA METEóRICA CON LA CONNATA---
USE SOLUTION 2
USE SOLUTION 3
MIX #10% AGUA CONNATA+DIAGENESIS#
   2 0.1
```

```
   3 0.9
SAVE solution 4
END

USE SOLUTION 2
USE SOLUTION 3
MIX #50% AGUA CONNATA+DIAGENESIS#
   2 0.5
   3 0.5
SAVE solution 5
END

USE SOLUTION 2
USE SOLUTION 3
MIX #90% AGUA CONNATA+DIAGENESIS#
   2 0.9
   3 0.1
SAVE solution 6
END

ESCENARIO 7.
TITLE Caso 1. Aguas Bicarbonatadas a 15000 pies
#Hipotesis E7: Evolución de M-1002 a M-863, desde el resultado del innverse modeling#
TITLE Caso 1. Modelado Directo (Forward Modelling) - Evolución de M-1002 a M-863

SOLUTION 1 Aguas Bicarbonatada sodica (Muestra M-1002)
   temp      37.0
   pH        7.0
   pe        7
   units     ppm
   Ca        6.1
   Mg        1.8
   Na        109.7
   K         69.9
   Cl        3
   C(4)      418 as HCO3
```

```
   S(6)       0.2 as SO4-2
SAVE solution 1
END

# ==============================================================================
# PASO 2: SIMULACIÓN DE LA INTERACCIÓN AGUA-ROCA PROFUNDA (15,000 pies)
# ==============================================================================
USE solution 1

EQUILIBRIUM_PHASES 1 Reacciones Diagénicas en el Reservorio
   # --- Reactivos: Se disuelven hasta agotar los moles provistos por el modelo inverso ---
   Albite      0.0   4.956e-02  dissolve_only    # Fuente de Na+ masivo
   CO2(g)      0.0   2.328e-02  dissolve_only    # Inyección de Carbono por soterramiento
   Calcite     0.0   3.740e-04  dissolve_only    # Disolución menor de carbonatos
   Dolomite    0.0   1.264e-04  dissolve_only    # Disolución menor de dolomitas

   # --- Productos Autigénicos: Tienen 0 moles iniciales y precipitan al saturarse el agua ---
   K-feldspar   0.0   0.0       precipitate_only # Secuestra el K+ excedente
   Kaolinite    0.0   0.0       precipitate_only # Remueve el Al liberado por silicatos
   Quartz       0.0   0.0       precipitate_only # Remueve la Sílice (Si) libre
   Gypsum       0.0   0.0       precipitate_only # Control iónico menor de sulfatos

SAVE solution 2
end

CASO 2. EVIDENCIAS DE MUESTRAS CLORURADAS SÓDICAS CON UNA CLASIFICACIÓN DULCE DE ACUERDO CON (HEM, 1970)
ESCENARIO 1. CUENCA MARACAIBO FALCÓN
title Caso 2. Aguas Clorurada sódica CMF dulces Considerando mezclas de aguas
# --- PASO 1: AGUA CONNATA ORIGINAL ---
solution 1. Aguas Clorurada sódica SALOBRES Subfacies Connata CMF(Muestra M-853)
temp 124.63333333333297
pH 6.6
pE -4 #ajustado por profundidad#
units ppm
Ca         176.0
Mg          19.0
```

```
Na        1161.0
K         0.0
Cl        1845.0
C(4)      147.0 as HCO3
S(6)      307.0 as SO4-2
save solution 1
end
# --- PASO 2: AGUA METEÓRICA QUE SE INFILTRA ---
solution 2. Aguas Bicarbonatada sódica DULCES Subfacies Meteórica CMF(Muestra M-630)
temp 27.722222222222214
pH 7.54
pE 8 #ajustado por profundidad#
units ppm
Ca        1.6
Mg        0.97
Na        98.9
K         0.0
Cl        2.0
C(4)      268.4 as HCO3
S(6)      0.0 as SO4-2
Fe        0.0 # S/INF en Base de Datos
save solution 2
end
# --- PASO 3: MEZCLAS DE LAS AGUAS A DISTINTAS TEMPERATURAS ---

MIX #10% AGUA CONNATA#
1 0.1
2 0.9
REACTION_TEMPERATURE 1
    25.0 50.0 100.0 150.0
save solution 3
end
MIX #20% AGUA CONNATA#
1 0.2
2 0.8
REACTION_TEMPERATURE 1
```

```
    25.0 50.0 100.0 150.0
save solution 4
end
MIX #30% AGUA CONNATA#
1 0.3
2 0.7
REACTION_TEMPERATURE 1
    25.0 50.0 100.0 150.0
save solution 5
end
MIX #40% AGUA CONNATA#
1 0.4
2 0.6
REACTION_TEMPERATURE 1
    25.0 50.0 100.0 150.0
save solution 6
end
MIX #50% AGUA CONNATA#
1 0.5
2 0.5
REACTION_TEMPERATURE 1
    25.0 50.0 100.0 150.0
save solution 7
end
MIX #60% AGUA CONNATA#
1 0.6
2 0.4
REACTION_TEMPERATURE 1
    25.0 50.0 100.0 150.0
save solution 8
end
MIX #70% AGUA CONNATA#
1 0.7
2 0.3
REACTION_TEMPERATURE 1
    25.0 50.0 100.0 150.0
```

```
save solution 9
MIX #80% AGUA CONNATA#
1 0.8
2 0.2
REACTION_TEMPERATURE 1
    25.0 50.0 100.0 150.0
save solution 10
end
MIX #90% AGUA CONNATA#
1 0.9
2 0.1
REACTION_TEMPERATURE 1
    25.0 50.0 100.0 150.0
save solution 11
end
MIX #10% AGUA CONNATA#
1 0.1
2 0.9
save solution 12
end
MIX #20% AGUA CONNATA#
1 0.2
2 0.8
save solution 13
end
MIX #30% AGUA CONNATA#
1 0.3
2 0.7
save solution 14
end
MIX #40% AGUA CONNATA#
1 0.4
2 0.6
save solution 15
end
MIX
```

```
1 0.5 #50% AGUA CONNATA#
2 0.5
save solution 16
end
MIX
1 0.6 #60% AGUA CONNATA#
2 0.4
save solution 17
end
MIX #70% AGUA CONNATA#
1 0.7
2 0.3
save solution 18
MIX #80% AGUA CONNATA#
1 0.8
2 0.2
save solution 19
end
MIX #90% AGUA CONNATA#
1 0.9
2 0.1
save solution 20
end
```

ESCENARIO 2. CUENCA MARACAIBO FALCÓN

```
title Caso 2. Aguas Cloruradas sódicas dulces considerando reacción con Halita

solution 1. Aguas Bicarbonatada sódica DULCES Subfacies Meteórica CMF (Muestra M-630)
        temp 27.722222222222214
        pH 7.54
        pE 8 #ajustado por profundidad#
        units ppm
        Ca      1.6
        Mg      0.97
        Na      98.9
```

```
        K       0.0
        Cl      2.0
        C(4)     268.4 as HCO3
        S(6)     0.0 as SO4-2
        Fe      0.0 # S/INF en Base de Datos
save solution 1
reaction
halite 0.001
save solution 2
end
solution 1. Aguas Bicarbonatada sódica DULCES Subfacies Meteórica CMF(Muestra M-630)
        temp 27.722222222222214
        pH 7.54
        pE 8 #ajustado por profundidad#
        units ppm
        Ca      1.6
        Mg       0.97
        Na      98.9
        K       0.0
        Cl      2.0
        C(4)     268.4 as HCO3
        S(6)     0.0 as SO4-2
        Fe      0.0 # S/INF en Base de Datos
save solution 1
reaction
halite 0.01
save solution 3
end
solution 1. Aguas Bicarbonatada sódica DULCES Subfacies Meteórica CMF(Muestra M-630)
        temp 27.722222222222214
        pH 7.54
        pE 8 #ajustado por profundidad#
        units ppm
        Ca      1.6
        Mg       0.97
        Na      98.9
```

```
        K       0.0
        Cl      2.0
        C(4)     268.4 as HCO3
        S(6)     0.0 as SO4-2
        Fe      0.0 # S/INF en Base de Datos
save solution 1
reaction
halite 0.1
save solution 4
end
solution 1. Aguas Bicarbonatada sódica DULCES Subfacies Meteórica CMF(Muestra M-630)
        temp 27.722222222222214
        pH 7.54
        pE 8 #ajustado por profundidad#
        units ppm
        Ca      1.6
        Mg       0.97
        Na      98.9
        K       0.0
        Cl      2.0
        C(4)     268.4 as HCO3
        S(6)     0.0 as SO4-2
        Fe      0.0 # S/INF en Base de Datos
reaction
halite 1
save solution 5
End
ESCENARIO 3. CUENCA MARACAIBO FALCÓN
title Caso 2. Aguas Clorurada sódica CMF dulces Considerando mezclas de aguas
# --- PASO 1: AGUA CONNATA ORIGINAL ---
solution 1. Aguas Clorurada sódica SALOBRES Subfacies Connata CMF (Muestra M-853)
temp 124.63333333333297
pH 6.6
pE -4 #ajustado por profundidad#
units ppm
Ca      176.0
```

```
Mg        19.0
Na        1161.0
K         0.0
Cl        1845.0
C(4)      147.0 as HCO3
S(6)      307.0 as SO4-2
save solution 1
end

# --- PASO 2: AGUA METEÓRICA QUE SE INFILTRA ---
solution 2. Aguas Bicarbonatada sódica DULCES Subfacies Meteórica CMF(Muestra M-630)
temp 27.722222222222214
pH 7.54
pE 8 #ajustado por profundidad#
units ppm
Ca        1.6
Mg        0.97
Na        98.9
K         0.0
Cl        2.0
C(4)      268.4 as HCO3
S(6)      0.0 as SO4-2
Fe        0.0 # S/INF en Base de Datos
save solution 2
end
# --- PASO 3: MEZCLAS DE LAS AGUAS A DISTINTAS TEMPERATURAS ---

MIX #10% AGUA CONNATA#
1 0.1
2 0.9
save solution 3
end
# === PASO 5: REACCIÓN DE LA MEZCLA CON LA ARCILLA (SOLUTION 4) ===
EXCHANGE 1
   equilibrate with solution 3
   X 0.5
```

```
USE solution 3
USE exchange 1
SAVE solution 4
end
# === PASO 6: PREPARACIÓN DE LOS MINERALES (EQUILIBRIUM_PHASES) ===
use solution 4
EQUILIBRIUM_PHASES 2
   # 1. El sumidero de Bicarbonato
   Calcite      0.0   10.0  # Precipita si se satura

   # 2. El motor de la reacción (Transformación de feldespatos)
   # Forzamos al agua a equilibrarse con Albita (Na) y Anortita (Ca)
   Albite       0.0   0.0   # Se permite formar Albita (sacando Na del agua)
   Anorthite    0.0   1.0  # Se permite disolver Anortita (aportando Ca y Al)

   # 3. Control de Sílice y pH (necesario para que corra silicatos)
   Chalcedony   0.0   0.0
   Kaolinite    0.0   0.0
save equilibrium_phases 2
end
# === PASO 7: REACCIÓN FINAL CON MINERALES (SOLUTION 5) ===
use solution 4
USE equilibrium_phases 2
save solution 5
end
```

CASO 3. EVIDENCIAS DE MUESTRAS CLORURADAS SÓDICAS CERCANAS A AGUA DE MAR
ESCENARIO 1.

```
title Caso 3. Muestras Cloruradas Sódicas cercanas a agua de mar a partir de aerosol marino
# --- PASO 1: AGUA METEÓRICA ORIGINAL ---
solution 1. Aguas Bicarbonatada sódica Cuenca Maracaibo Falcón (Muestra M-402)
temp 26.0
units ppm
Ca         27.8
Mg          6.5
Na         37.23
```

```
K         1.64
Cl        11.6
C(4)       195 as HCO3
S(6)       14.32 as SO4-2
save solution 1
# --- PASO 2: COMPOSICIÓN DEL AEROSOL MARINO ---
solution 2. Aerosol Marino (Calvo et al., 2009)
temp 26.0
units ppm
Ca        0.412
Mg         1.3
Na        10.8
K         0.0399
Cl        19.3
C(4)       0.142 as HCO3
S(6)       2.7 as SO4-2
save solution 2
# --- PASO 3: PROCESO DE MEZCLA ---
MIX #10% AGUA METEÓRICA#
1 0.1
2 0.9
save solution 3
end
MIX #20% AGUA METEÓRICA#
1 0.2
2 0.8
save solution 4
end
MIX #30% AGUA METEÓRICA#
1 0.3
2 0.7
save solution 5
end
MIX #40% AGUA METEÓRICA#
1 0.4
2 0.6
```

```
save solution 6
end
MIX
1 0.5 #50% AGUA METEÓRICA#
2 0.5
save solution 7
end
MIX
1 0.6 #60% AGUA METEÓRICA#
2 0.4
save solution 8
end
MIX #70% AGUA METEÓRICA#
1 0.7
2 0.3
save solution 9
end
MIX #80% AGUA METEÓRICA#
1 0.8
2 0.2
save solution 10
end
MIX #90% AGUA METEÓRICA#
1 0.9
2 0.1
save solution 11
end
end
```

ESCENARIO 2.

```
title Caso 3. Muestras Cloruradas Sódicas cercanas a agua de mar desde un agua del Lago de Maracaibo
solution 1. Aguas Bicarbonatada sódica Cuenca Maracaibo Falcón (Muestra M-402)
temp 26.0
units ppm
Ca        27.8
Mg         6.5
```

```
Na        37.23
K         1.64
Cl        11.6
C(4)      195 as HCO3
S(6)      14.32 as SO4-2
save solution 1
end
# --- PASO 2: COMPOSICIÓN DEL LAGO DE MARACAIBO ---
solution 2. Muestra del Lago de Maracaibo (M-22)
temp 26.0
units ppm
Ca        40
Mg        97
Na        1158
K         0
Cl        1800
C(4)      97 as HCO3
S(6)      384 as SO4-2
save solution 2
end
# --- PASO 3: PROCESO DE MEZCLA ---
MIX #10% AGUA METEÓRICA#
1 0.1
2 0.9
save solution 3
end
MIX #20% AGUA METEÓRICA#
1 0.2
2 0.8
save solution 4
end
MIX #30% AGUA METEÓRICA#
1 0.3
2 0.7
save solution 5
end
```

```
MIX #40% AGUA METEÓRICA#
1 0.4
2 0.6
save solution 6
end
MIX
1 0.5 #50% AGUA METEÓRICA#
2 0.5
save solution 7
end
MIX
1 0.6 #60% AGUA METEÓRICA#
2 0.4
save solution 8
end
MIX #70% AGUA METEÓRICA#
1 0.7
2 0.3
save solution 9
end
MIX #80% AGUA METEÓRICA#
1 0.8
2 0.2
save solution 10
end
MIX #90% AGUA METEÓRICA#
1 0.9
2 0.1
save solution 11
end
end
```

CASO 4. EVIDENCIAS DE MUESTRAS SULFATO SÓDICAS A UNA PROFUNDIDAD DE 6.000-9.000 PIES (~2.000 A 3.000 METROS)
ESCENARIO 1.

```
title Caso 4. Muestras sulfato sódicas a una profundidad de 6000-9000 pies desde aguas bicarbonatada sódica
# --- PASO 1: AGUA BICARBONATADA SÓDICA ORIGINAL ---
```

```
solution 1. Agua bicarbonatada sódica salobre (Muestra M-863)
temp 83.0
pE -4 # considerando la profundidad de la muestra#
units ppm
Ca        26
Mg         4.86
Na        1239.2
K         0
Cl        119.97
C(4)       1850 as HCO3
S(6)       0 as SO4-2
save solution 1
end
use solution 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
   Dolomite     0.0   10.0
save solution 2
end
# --- PASO 2: REACCIÓN CON MINERALES CON AZUFRE ---
USE solution 2
reaction
pyrite 0.005
REACTION_TEMPERATURE 1
    25.0 50.0 100.0 150.0
save solution 3
end
USE solution 2
reaction
gypsum 0.005
REACTION_TEMPERATURE 1
    25.0 50.0 100.0 150.0
save solution 4
end
USE solution 2
reaction
anhydrite 0.005
```

```
REACTION_TEMPERATURE 1
    25.0 50.0 100.0 150.0
save solution 5
end
USE solution 2
reaction
pyrite 0.005
save solution 6
end
USE solution 2
reaction
gypsum 0.005
save solution 7
end
USE solution 2
reaction
anhydrite 0.005
save solution 8
End
ESCENARIO 2.
title Caso 4. Muestras sulfato sódicas a una profundidad de 6000-9000 pies desde aguas puras meteóricas o de contacto con agua de mar
# --- PASo 1: agua alta en azufre ---
solution 1. Agua CLORURADA sódica salobre (Muestra M-75)
temp 83.0
pE -4 ## considerando la profundidad de la muestra#
units ppm
Ca        80
Mg        72
Na        1335.25
K         0
Cl        921.78
C(4)      921.78 as HCO3
S(6)      1203.5 as SO4-2
save solution 1
end
use solution 1
```

```
EQUILIBRIUM_PHASES 1
   Dolomite     0.0   10.0
save solution 2
end
# --- PASO 2: AGUA meteórica ---
SOLUTION 3 Precipitation from Central Oklahoma #de la base de datos de Phreeqc#
temp          25.0
pH            4.5   # estimated
pE                    7 # <-- pE ASIGNADO POR PROFUNDIDAD
units         mg/L
Ca            .384
Mg            .043
Na            .141
K             .036
Cl            .236
C(4)          .1     CO2(g)  -3.5
S(6)          1.3
save solution 3
end

# --- PASO 3: mezcla ---
MIX 1 #10% AGUA CONNATA#
2 0.1
3 0.9
save solution 4
end
MIX 2 #20% AGUA CONNATA#
2 0.2
3 0.8
save solution 5
end
MIX 3 #30% AGUA CONNATA#
2 0.3
3 0.7
save solution 6
end
```

```
MIX 4 #40% AGUA CONNATA#
2 0.4
3 0.6
save solution 7
end
MIX 5 #50% AGUA CONNATA#
2 0.5
3 0.5
save solution 8
end
MIX 6 #60% AGUA CONNATA#
2 0.6
3 0.4
save solution 9
end
MIX 7 #70% AGUA CONNATA#
2 0.7
3 0.3
save solution 10
end
MIX 8 #80% AGUA CONNATA#
2 0.8
3 0.2
save solution 11
end
MIX 9 #90% AGUA CONNATA#
2 0.9
3 0.1
save solution 12
end
```

CASO 5. EVIDENCIAS DE MUESTRAS ENRIQUECIDAS EN LA CONCENTRACIÓN DE POTASIO EN RELACIÓN CON LA CONCENTRACIÓN DE SODIO
ESCENARIO 1.

```
title Caso 5. Muestras enriquecidas en potasio en relación con sodio
# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE LAS REACCIONES DE MINERALES POTÁSICOS ---
PHASES
```

```
K-feldspar
   KAlSi3O8 + 4 H+ + 4 H2O = 1 K+ + 1 Al+3 + 3 H4SiO4
   log_k     -0.11
   delta_h   -12.50 kcal

Muscovite
   KAl3Si3O10(OH)2 + 10 H+ = 1 K+ + 3 Al+3 + 3 H4SiO4
   log_k     12.97
   delta_h   -59.38 kcal

Kaolinite
   Al2Si2O5(OH)4 + 6 H+ = 2 Al+3 + 2 H4SiO4 + 1 H2O
   log_k     7.435
   delta_h   -35.30 kcal
END
# --- PASO 2: AGUA ENRIQUECIDA EN SODIO ---
solution 1. Muestras sódicas (Muestra M-50)
temp 118.0
pH 8.1
pE -4 #asignado por la profundidad#
units ppm
Ca        22
Mg         1.6
Na        85
K         55
Cl        110
C(4)       115 as HCO3
S(6)       40 as SO4-2
save solution 1
end
use solution 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
   Quartz      0.0   10.0
SAVE solution 2
end
use solution 2
```

```
EQUILIBRIUM_PHASES 2
   Calcite      0.0   10.0
   Dolomite     0.0   10.0
   Albite       0.0   10.0
SAVE solution 3
end
# --- PASO 3: REACCIONES CON MINERALES ENRIQUECIDOS EN POTASIO---
use solution 3
reaction
illite 0.05
save solution 4
end
use solution 3
reaction
k-feldspar 0.05
save solution 5
end
use solution 3
reaction
k-mica 0.05
save solution 6
end
use solution 3
reaction
muscovite 0.05
save solution 7
end
```

ESCENARIO 2.

```
title Caso 5. Muestras enriquecidas en potasio en relación con sodio
# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE LAS REACCIONES DE MINERALES POTÁSICOS ---
PHASES
K-feldspar
   KAlSi3O8 + 4 H+ + 4 H2O = 1 K+ + 1 Al+3 + 3 H4SiO4
   log_k     -0.11
   delta_h   -12.50 kcal
```

```
Muscovite
   KAl3Si3O10(OH)2 + 10 H+ = 1 K+ + 3 Al+3 + 3 H4SiO4
   log_k     12.97
   delta_h   -59.38 kcal

Kaolinite
   Al2Si2O5(OH)4 + 6 H+ = 2 Al+3 + 2 H4SiO4 + 1 H2O
   log_k     7.435
   delta_h   -35.30 kcal
END
# --- PASO 2: DEFINICIÓN DE LA SOLUCIÓN PRECURSORA M-895 ---
SOLUTION 1 Muestra Sódica Salina Precursora (M-895)
   temp      101.88
   pH        7.3
   pe        -4       # Ambiente reductor profundo
   units     ppm
   Ca        376
   Mg        78
   Na        1715
   K         0
   Cl        2300
   C(4)      2300 as HCO3
   S(6)      336  as SO4
SAVE solution 1
END
# --- PASO 3: Estabilizar los minerales con IS>0 ---
USE SOLUTION 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
      Calcite      0.0   10.0  # Precipita si se satura
      Dolomite     0.0   10.0  # Precipita si se satura
      Aragonite    0.0   10.0 # Precipita si se satura
save SOLUTION 2
end
# --- PASO 4: EL REACTOR LITOQUÍMICO (ARCILLAS ILLÍTICAS) ---
# Seteamos una arcilla altamente cargada de Potasio para que haga el swap molar con el Sodio
```

```
EXCHANGE 1 Complejo activo rico en K
   KX       0.55     # <-- Súper cargada de Potasio para inyectarlo al agua
   CaX2      0.25
   MgX2      0.065
   NaX      0.0005
SAVE exchange 1
END

# --- PASO 5: EQUILIBRIO MINERAL Y BUFFER DE CARBONATOS ---
USE solution 2
USE exchange 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
   Quartz     0.0   10.0   # Aporta la sílice estructural de la formación
   Anhydrite -1.3   10.0
   calcite    0.2   10.0

   # El gas controla que el HCO3 baje suavemente de 2300 a 2170 ppm
   CO2(g)   1.5  10.0
SAVE solution 3
END
```

CASO 6. MUESTRAS CLORURADAS CÁLCICA POR INTERCAMBIO IÓNICO

ESCENARIO 1.

```
title Caso 6. Muestras cloruradas cálcica por intercambio iónico desde el contacto con minerales enriquecidos en calcio
# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA CONNATA ORIGINAL---
solution 1. Muestra clorurada sódica Cuenca Maracaibo (Muestra M-61)
temp 52.0
Ph 7.24
pE -4 #assignado por profundidad#
units ppm
Ca         200
Mg         110
Na         31372
K          0
Cl         47215
```

```
C(4)       720 as HCO3
S(6)       1725 as SO4-2
save solution 1
END
# --- PASO 2: PRECIPITACIÓN DE MINERALES CON SI>0---
USE SOLUTION 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
     Calcite     0.0   10.0  # Precipita si se satura
     Dolomite     0.0   10.0  # Precipita si se satura
save SOLUTION 2
end

# --- PASO 3: EN CONTACTO CON MINERALES ENRIQUECIDOS EN CAlCIO---
use solution 2
reaction
Anhydrite 0.1
save solution 3
end
use solution 2
reaction
anorthite 0.1
save solution 4
end
use solution 2
reaction
gypsum 0.1
save solution 5
end
ESCENARIO 2.
title Caso 6. Muestras cloruradas cálcica por intercambio iónico desde la mezcla de aguas
# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA CONNATA ORIGINAL---
solution 1. Muestra clorurada sódica Cuenca Maracaibo (Muestra M-61)
temp 52.0
Ph 7.24
pE -4 #assignado por profundidad#
units ppm
```

```
Ca        200
Mg         110
Na        31372
K         0
Cl        47215
C(4)       720 as HCO3
S(6)       1725 as SO4-2
save solution 1
end
# --- PASO 2: PRECIPITACIÓN DE MINERALES CON SI>0---
USE SOLUTION 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
     Calcite      0.0   10.0  # Precipita si se satura
     Dolomite      0.0   10.0  # Precipita si se satura
save SOLUTION 2
end
# --- PASO 3: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA SULFATADA CÁLCICA---
solution 3. muestra sulfatada cálcica Cuenca Barinas Apure (Muestra M-1001)
temp 106.0
pH 6.54
pE 8 #asignado por profundidad#
units ppm
Ca        86.7
Mg         7.3
Na        12.5
K         2.2
Cl        7
C(4)       1200 as HCO3
S(6)       49 as SO4-2
save solution 3
end
# --- PASO 4: PROCESO DE MEZCLAS ENTRE AGUAS---
MIX 1 #10% AGUA CONNATA#
2 0.1
3 0.9
save solution 4
```

```
end
MIX 2 #20% AGUA CONNATA#
2 0.2
3 0.8
save solution 5
end
MIX 3 #30% AGUA CONNATA#
2 0.3
3 0.7
save solution 6
end
MIX 4 #40% AGUA CONNATA#
2 0.4
3 0.6
save solution 7
end
MIX 5 #50% AGUA CONNATA#
2 0.5
3 0.5
save solution 8
end
MIX 6 #60% AGUA CONNATA#
2 0.6
3 0.4
save solution 9
end
MIX 7 #70% AGUA CONNATA#
2 0.7
3 0.3
save solution 10
end
MIX 8 #80% AGUA CONNATA#
2 0.8
3 0.2
save solution 11
end
```

```
MIX 9 #90% AGUA CONNATA#
2 0.9
3 0.1
save solution 12
end


ESCENARIO 3.
title Caso 6. Muestras cloruradas cálcica por intercambio iónico desde la precipitación de sodio
# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE FACIES DE SODIO---
PHASES
Montmor-Na
        Na0.33Mg0.33Al1.67Si4O10(OH)2 + 6H+ + 4H2O = 0.33Na+ + 0.33Mg+2 + 1.67Al+3 + 4H4SiO4
    log_k 2.4844
     -delta_H -93.2165 kJ/mol # Calculated enthalpy of reaction Montmor-Na
#     Enthalpy of formation:     -1360.69 kcal/mol
    -analytic 1.9601e+0 1.1342e-2 1.6051e+4 -1.4718e+1 -1.816e+6
#    -Range:  0-300


# --- PASO 2: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA CONNATA ORIGINAL---
solution 1. Muestra clorurada sódica Cuenca Maracaibo (Muestra M-61)
temp 52.0
Ph 7.24
pE -4 #assignado por profundidad#
units ppm
Ca      200
Mg      110
Na      31372
K       0
Cl      47215
C(4)    720 as HCO3
S(6)    1725 as SO4-2
H4SiO4  0
save solution 1
END
```

```
# --- PASO 3: PRECIPITACIÓN DE MINERALES CON SI>0---
USE SOLUTION 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
      Calcite      0.0   10.0  # Precipita si se satura
      Dolomite      0.0   10.0  # Precipita si se satura
save SOLUTION 2
end

# --- PASO 4: LLEVAR A LA PRECIPITCIÓN DE MINERALES ENRIQUECIDOS EN SODIO ---
USE SOLUTION 2
equilibrium_phases 2
halite -10
save solution 3
end
USE SOLUTION 2
equilibrium_phases
Montmor-Na  -0.1
save solution 4
end

ESCENARIO 4.
TITLE Caso 6 - Evolucion Diagenetica a Facies Clorurada Calcica por Intercambio Ionico Dinamico

# ---------------------------------------------------------------------------
# 1. DEFINICION DEL FLUIDO MIGRATORIO (Salmuera connata tipo M-61)
# ---------------------------------------------------------------------------
# Este es el fluido original altamente sodico antes de pasar por las arcillas.#

solution 1. Muestra clorurada sódica Cuenca Maracaibo (Muestra M-61)
            temp 52.0
            Ph 7.24
            pE -4 #assignado por profundidad#
            units ppm
            Ca         200
            Mg          110
            Na         31372
```

```
        K        0
        Cl       47215
        C(4)      720 as HCO3
        S(6)      1725 as SO4-2
        save solution 1
END
# --- PASO 2: PRECIPITACIÓN DE MINERALES CON SI>0---#
USE SOLUTION 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
    Calcite     0.0   10.0  # Precipita si se satura
    Dolomite     0.0   10.0  # Precipita si se satura
save SOLUTION 2
end


# ---------------------------------------------------------------------------
# Pasp 3. DEFINICION DEL FILTRO DE ARCILLAS (Intercambiador Cationico)
# ---------------------------------------------------------------------------
# Definimos los sitios de intercambio (X) de la matriz arcillosa.#

EXCHANGE 1 Matriz Arcillosa del Reservorio
   CaX2     2.80    # Moles de sitios cargados con Calcio listos para ceder
   MgX2      0.6    # Moles de sitios cargados con Magnesio listos para ceder
   NaX      0.01     # Arcilla casi libre de Sodio inicialmente
SAVE exchange 1
END

# ---------------------------------------------------------------------------
# Paso 4. SIMULACION DINAMICA: Reaccion del fluido migratorio con la arcilla
# ---------------------------------------------------------------------------
USE solution 2
USE exchange 1

SAVE solution 3
END
```

CASO 7. MUESTRAS CLORURADAS MAGNÉSICA POR INTERCAMBIO IÓNICO
ESCENARIO 1.

```
title Caso 7. Muestras cloruradas magnésica por intercambio iónico
# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA CONNATA ORIGINAL---
solution 1. Muestra clorurada sódica Cuenca Oriental (Muestra M-82)
temp 106.0
pH 6.54
pE -4 # asignado por la profundidad#
units ppm
Ca        280
Mg         84
Na        2843
K         0
Cl        4255
C(4)       1200 as HCO3
S(6)       0 as SO4-2
save solution 1
end
# --- PASO 2: PRECIPITACIÓN DE MINERALES CON SI>0---
USE SOLUTION 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
     Calcite      0.0   10.0  # Precipita si se satura
     Dolomite      0.0   10.0  # Precipita si se satura
save SOLUTION 2
end
# --- PASO 3: EN CONTACTO CON MINERALES ENRIQUECIDOS EN MAGNESIO---
USE SOLUTION 2
reaction
dolomite 0.1
save solution 3
end
```

ESCENARIO 2.

```
title Caso 7. Muestras cloruradas magnésica por intercambio iónico desde mezcla de aguas
# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA CONNATA ORIGINAL---
solution 1. Muestra clorurada sódica Cuenca Oriental (Muestra M-82)
```

```
temp 106.0
pH 6.54
pE -4 #asignado por profundidad#
units ppm
Ca        280
Mg         84
Na        2843
K         0
Cl        4255
C(4)       1200 as HCO3
S(6)       0 as SO4-2
save solution 1
end
# --- PASO 2: PRECIPITACIÓN DE MINERALES CON SI>0---
USE SOLUTION 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
     Calcite      0.0   10.0  # Precipita si se satura
     Dolomite      0.0   10.0  # Precipita si se satura
save SOLUTION 2
end
# --- PASO 3: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA SULFATADA MAGNÉSICA---
solution 3. Muestra sulfatada magnésica (Muestra M-640)
temp 106.0
pE 8 #asignado por profundidad#
units ppm
Ca        211
Mg         392
Na        9.21
K         23.6
Cl        4
C(4)       0 as HCO3
S(6)       2170 as SO4-2
save solution 3
end
# --- PASO 4: PROCESO DE MEZCLAS ENTRE AGUAS---
MIX 1 #10% AGUA CONNATA#
```

```
2 0.1
3 0.9
save solution 4
end
MIX 2 #20% AGUA CONNATA#
2 0.2
3 0.8
save solution 5
end
MIX 3 #30% AGUA CONNATA#
2 0.3
3 0.7
save solution 6
end
MIX 4 #40% AGUA CONNATA#
2 0.4
3 0.6
save solution 7
end
MIX 5 #50% AGUA CONNATA#
2 0.5
3 0.5
save solution 8
end
MIX 6 #60% AGUA CONNATA#
2 0.6
3 0.4
save solution 9
end
MIX 7 #70% AGUA CONNATA#
2 0.7
3 0.3
save solution 10
end
MIX 8 #80% AGUA CONNATA#
2 0.8
```

```
3 0.2
save solution 11
end
MIX 9 #90% AGUA CONNATA#
2 0.9
3 0.1
save solution 12
end
```

ESCENARIO 3.

```
title Caso 7. Muestras cloruradas magnésica por intercambio iónico desde la precipitación de minerales de sodio
# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE FACIES DE SODIO---
PHASES
Montmor-Na
        Na0.33Mg0.33Al1.67Si4O10(OH)2 + 6H+ + 4H2O = 0.33Na+ + 0.33Mg+2 + 1.67Al+3 + 4H4SiO4
    log_k 2.4844
     -delta_H -93.2165 kJ/mol # Calculated enthalpy of reaction Montmor-Na
#     Enthalpy of formation:     -1360.69 kcal/mol
    -analytic 1.9601e+0 1.1342e-2 1.6051e+4 -1.4718e+1 -1.816e+6
#    -Range:  0-300

# --- PASO 2: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA CONNATA ORIGINAL---
solution 1. Muestra clorurada sódica Cuenca Oriental (Muestra M-82)
temp 106.0
pH 6.54
pE -4 #asignado por profundidad#
units ppm
Ca      280
Mg      84
Na      2843
K       0
Cl      4255
C(4)    1200 as HCO3
S(6)    0 as SO4-2
save solution 1
```

```
end
# --- PASO 3: PRECIPITACIÓN DE MINERALES CON SI>0---
USE SOLUTION 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
      Calcite      0.0   10.0  # Precipita si se satura
      Dolomite      0.0   10.0  # Precipita si se satura
save SOLUTION 2
end
# --- PASO 4: LLEVAR A LA PRECIPITACIÓN DE MINERALES ENRIQUECIDOS EN SODIO ---
USE SOLUTION 2
equilibrium_phases 2
halite -10
save solution 3
end
USE SOLUTION 2
equilibrium_phases 3
Montmor-Na -0.1
save solution 4
end
```

ESCENARIO 4.

```
TITLE Caso 7 - Intercambio Ionico Dinamico (CON DATOS ORIGINALES M-82)

# ---------------------------------------------------------------------------
# 1. DEFINICION DEL FLUIDO BASE (Muestra M-82 - Datos de Laboratorio)
# ---------------------------------------------------------------------------
SOLUTION 1 Agua Base Sodica (M-406)
   temp      25.0
   units     ppm
   pe        8.0
   pH        7.0
   Ca        51.9
   Mg        71.5
   Na        419.3
   K         22.38
```

```
   Cl       832
   C(4)     0 as HCO3
   S(6)     26.4 as SO4
SAVE solution 1
END

# ---------------------------------------------------------------------------
# 2. DEFINICION DEL FLUIDO QUITANDO LOS MINERALES CON IS>0 (Muestra M-406 - Datos de Laboratorio)
# ---------------------------------------------------------------------------
USE SOLUTION 1
            EQUILIBRIUM_PHASES 1
                Calcite     0.0   10.0  # Precipita si se satura
                Dolomite     0.0   10.0  # Precipita si se satura
            save SOLUTION 2
            end

# ---------------------------------------------------------------------------
# 3. DEFINICION DEL FLUIDO A MEZCLAR (Muestra M-640 - Datos de Laboratorio)
# ---------------------------------------------------------------------------
solution 3. Muestra sulfatada magnésica (Muestra M-640)
            temp 106.0
            pE 8 #asignado por profundidad#
            units ppm
            Ca         211
            Mg         392
            Na         9.21
            K          23.6
            Cl         4
            C(4)       0 as HCO3
            S(6)       2170 as SO4-2
            save solution 3
            end
            # ---------------------------------------------------------------------------
# 4. MEZCLAR (Muestra M-640 Y M-406- Datos de Laboratorio)
# ---------------------------------------------------------------------------
MIX 1 #13.41% de la muestra M-640 y un 86.59% de la muestra M-406#
```

```
2 0.8659
3 0.1341
SAVE SOLUTION 4
end
# ---------------------------------------------------------------------------
# 5. CONFIGURACION DEL INTERCAMBIADOR (Matriz Arcillosa Magnesica)
# ---------------------------------------------------------------------------
# Ajustamos la capacidad de intercambio para manejar la mayor carga de Na de la M-82.
EXCHANGE 1 Arcillas Ricas en Magnesio
   MgX2      0.45    # Cantidad de Magnesio disponible en la arcilla
   CaX2      0.05    # Fraccion de Calcio
   NaX       0.0     # La arcilla esta inicialmente libre de Sodio
SAVE exchange 1
END

# ---------------------------------------------------------------------------
# 2. SIMULACION DE PASO DE FLUIDO (Intercambio Na-Mg)
# ---------------------------------------------------------------------------
USE solution 4
USE exchange 1
save solution 5
save exchange 1
END

# ---------------------------------------------------------------------------
# 3. REACCION DINAMICA CON INTERACCION DE MATRIZ ROCA-ARCILLA
# ---------------------------------------------------------------------------

use solution 5
use exchange 1
EQUILIBRIUM_PHASES 2
   # El CO2 profundo disuelve carbonatos y eleva el Bicarbonato (HCO3-)
   CO2(g)      -0.65   10.0   # Presión parcial asignada de CO2

   # La Anhidrita aporta el Sulfato (SO4) extra que le falta a la mezcla
   Anhydrite    0.0    0.0
```

```
   Calcite              0.0    0.0
   Kaolinite    0.0    10.0  # Permite que precipite la arcilla secundaria
   Chalcedony   0.0    10.0  # Permite que precipite el exceso de sílice
REACTION 1
   Albite      1.0
   CO2(g)      1.0
   0.0118 moles            # Dosis molar para aportar ~700 ppm de HCO3- y Na+
SAVE solution 6
END
```

CASO 8. MUESTRAS BICARBONATADAS CÁLCICAS POR INTERCAMBIO IÓNICO

ESCENARIO 1.

```
title Caso 8. Muestras bicarbonatadas cálcicas por intercambio iónico desde el contacto con minerales ricos en calcio
# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA METEÓRICA ORIGINAL---
solution 1. Muestra bicarbonatada sódica (Muestra M-993)
temp 25.0
ph 6.6
pE 8 #asignado por profundidad#
units ppm
Ca         18
Mg         9
Na         124
K          1.2
Cl         45
C(4)       343 as HCO3
S(6)       8 as SO4-2
save solution 1
end
# --- PASO 2: EN CONTACTO CON MINERALES ENRIQUECIDOS EN CALCIO---
use solution 1
reaction
Anhydrite 0.1
save solution 2
end
```

```
use solution 1
reaction
Anorthite 0.1
save solution 3

end
use solution 1
reaction
Calcite 0.1
save solution 4
end
use solution 1
reaction
gypsum 0.1
save solution 5
end
```

ESCENARIO 2.

```
title Caso 8. Muestras bicarbonatadas cálcicas por intercambio iónico
# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA METEÓRICA ORIGINAL---
solution 1. Muestra bicarbonatada sódica (Muestra M-993)
temp 25.0
ph 6.6
pE 8 #asignado por profundidad#
units ppm
Ca        18
Mg         9
Na        124
K         1.2
Cl        45
C(4)      343 as HCO3
S(6)      8 as SO4-2
save solution 1
end
# --- PASO 2: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA SULFATADA CÁLCICA---
solution 2. muestra sulfatada cálcica Cuenca Oriental (Muestra M-1001)
```

```
temp 106.0
pH 6.54
pE 8 #asignado por profundidad#
units ppm
Ca        86.7
Mg         7.3
Na        12.5
K         2.2
Cl        7
C(4)      49 as HCO3
S(6)      186 as SO4-2
save solution 2
end
# --- PASO 3: PROCESO DE MEZCLAS ENTRE AGUAS---
MIX 1 #10% AGUA METEÓRICA#
1 0.1
2 0.9
save solution 3
end
MIX 3 #20% AGUA METEÓRICA#
1 0.2
2 0.8
save solution 4
end
MIX 3 #30% AGUA METEÓRICA#
1 0.3
2 0.7
save solution 5
end
MIX 4 #40% AGUA METEÓRICA#
1 0.4
2 0.6
save solution 6
end
MIX 5 #50% AGUA METEÓRICA#
1 0.5
```

```
2 0.5
save solution 7
MIX 6 #60% AGUA METEÓRICA#
1 0.6
2 0.4
save solution 8
end
MIX 7 #70% AGUA METEÓRICA#
1 0.7
2 0.3
save solution 9
end
MIX 8 #80% AGUA METEÓRICA#
1 0.8
2 0.2
save solution 10
end
MIX 9 #90% AGUA METEÓRICA#
1 0.9
2 0.1
save solution 11
end
```

ESCENARIO 3.

```
title Caso 8. Muestras bicarbonatadas cálcicas por intercambio iónico desde la precipitación de minerales ricos en sodio
# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE FACIES DE SODIO---
PHASES
Montmor-Na
        Na0.33Mg0.33Al1.67Si4O10(OH)2 + 6H+ + 4H2O = 0.33Na+ + 0.33Mg+2 + 1.67Al+3 + 4H4SiO4
    log_k 2.4844
     -delta_H -93.2165 kJ/mol # Calculated enthalpy of reaction Montmor-Na
#      Enthalpy of formation:      -1360.69 kcal/mol
    -analytic 1.9601e+0 1.1342e-2 1.6051e+4 -1.4718e+1 -1.816e+6
#    -Range:  0-300

# --- PASO 2: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA METEÓRICA ORIGINAL---
```

```
solution 1. Muestra bicarbonatada sódica (Muestra M-411)
temp 25.0
pE 8 #Asignado por profundidad#
units ppm
Ca        98.4
Mg         26.7
Na        127.8
K         2.81
Cl        53.4
C(4)       520 as HCO3
S(6)       87.5 as SO4-2
save solution 1
end
# --- PASO 3: LLEVAR A LA PRECIPITCIÓN DE MINERALES ENRIQUECIDOS EN SODIO ---
use solution 1
equilibrium_phases
Halite -10
save solution 2
end
use solution 1
equilibrium_phases
Montmor-Na -10
save solution 3
End
```

ESCENARIO 4.

```
title Caso 8. Muestras bicarbonatadas cálcicas por intercambio iónico
# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA METEÓRICA ORIGINAL---
solution 1. Muestra bicarbonatada sódica (Muestra M-411)
temp 25.0
pE 8 #Asignado por profundidad#
units ppm
Ca        98.4
Mg         26.7
Na        127.8
K         2.81
```

```
Cl        53.4
C(4)       520 as HCO3
S(6)       87.5 as SO4-2
save solution 1
end

# Usamos directamente la M-411 (Solution 1 en tu script original) sin mezclarla con M-1001

EXCHANGE 1
   CaX2    0.95   # La arcilla agrega Calcio para compensar...
   MgX2    0.02   # ... y tener muchísimo espacio libre para reducir el exceso de Mg
   NaX     0.03   # ... y reducit el exceso de Na
SAVE exchange 1
END

USE solution 1
USE exchange 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
   # El sistema necesita reducir sulfato y bicarbonato, permitimos que precipiten:
   Gypsum     0.0  10.0  # Si el Ca y SO4 suben mucho, precipita
   Calcite    0.0  10.0  # Buffer del sistema
   CO2(g)    -2.2  10.0  # Ajustamos pCO2 para no generar más bicarbonato del necesario
SAVE solution 2
END
```

CASO 9. MUESTRAS BICARBONATADAS MAGNÉSICAS POR INTERCAMBIO IÓNICO
ESCENARIO 1.

```
title Caso 9. Muestras bicarbonatada magnésica por intercambio iónico
# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA CONNATA ORIGINAL---
solution 1. Muestra bicarbonatada sódica Cuenca Maracaibo Falcón (Muestra M-725)
temp 25
pE 7 #asignado por la profundidad#
units ppm
Ca        4
Mg         2
Na        551
```

```
K          0
Cl         80
C(4)       1098 as HCO3
S(6)       119 as SO4-2
save solution 1
end
# Paso 2: Generar una equilibrium phase con dolomita#
USE SOLUTION 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
            Dolomite      0.0   10.0  # Precipita si se satura
save SOLUTION 2
end
# --- PASO 2: EN CONTACTO CON MINERALES ENRIQUECIDOS EN MAGNESIO---
use solution 2
reaction
dolomite 0.001
save solution 3
end
```

ESCENARIO 2.

```
title Caso 9. Muestras bicarbonatada magnésica por intercambio iónico
# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA CONNATA ORIGINAL---
solution 1. Muestra clorurada magnésica Maracaibo Falcón (Muestra M-429)
temp 154
pH 8.8
pE 7 #asignado por la profundidad#
units ppm
Ca         19
Mg         35
Na         45
K          19
Cl         153
C(4)       99 as HCO3
S(6)       7 as SO4-2
save solution 1
end
```

```
#PAso 2, eliminar las concentraciones que están por sobresaturación#
USE SOLUTION 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
Calcite      0.0   10.0  # Precipita si se satura
Dolomite      0.0   10.0  # Precipita si se satura
save SOLUTION 2
end
# --- PASO 3: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA BICARBONATADA SÓDICA---
solution 3. Muestra bicarbonatada sódica Cuenca Maracaibo Falcón (Muestra M-725)
temp 154
pE 7 #asignado por la profundidad#
units ppm
Ca         4
Mg         2
Na         551
K          0
Cl         80
C(4)       1098 as HCO3
S(6)       119 as SO4-2
save solution 3
end
#PAso 4, eliminar las concentraciones que están por sobresaturación#
USE SOLUTION 3
EQUILIBRIUM_PHASES 2
                Calcite      0.0   10.0  # Precipita si se satura
                Dolomite      0.0   10.0  # Precipita si se satura
save SOLUTION 4
end
# --- PASO 3: PROCESO DE MEZCLAS ENTRE AGUAS---
MIX 1 #10% AGUA MAGNÉSICA#
2 0.1
4 0.9
save solution 5
end
MIX 2 #20% AGUA MAGNÉSICA#
2 0.2
```

```
4 0.8
save solution 6
end
MIX 3 #30% AGUA MAGNÉSICA#
2 0.3
4 0.7
save solution 7
end
MIX 4 #40% AGUA MAGNÉSICA#
2 0.4
4 0.6
save solution 8
end
MIX 5 #50% AGUA MAGNÉSICA#
2 0.5
4 0.5
save solution 9
end
MIX 6 #60% AGUA MAGNÉSICA#
2 0.6
4 0.4
save solution 10
end
MIX 7 #70% AGUA MAGNÉSICA#
2 0.7
4 0.3
save solution 11
MIX 8 #80% AGUA MAGNÉSICA#
2 0.8
4 0.2
save solution 12
end
MIX 9 #90% AGUA MAGNÉSICA#
2 0.9
4 0.1
save solution 13
```

```
end



ESCENARIO 3.
title Caso 9. Muestras bicarbonatada magnésica por intercambio iónico
# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE FACIES DE SODIO---
PHASES
Montmor-Na
        Na0.33Mg0.33Al1.67Si4O10(OH)2 + 6H+ + 4H2O = 0.33Na+ + 0.33Mg+2 + 1.67Al+3 + 4H4SiO4
    log_k 2.4844
     -delta_H -93.2165 kJ/mol # Calculated enthalpy of reaction Montmor-Na
#     Enthalpy of formation:     -1360.69 kcal/mol
    -analytic 1.9601e+0 1.1342e-2 1.6051e+4 -1.4718e+1 -1.816e+6
#    -Range:  0-300

# --- PASO 2: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA ORIGINAL---
solution 1. Muestra bicarbonatada sódica Cuenca Maracaibo Falcón (Muestra M-725)
temp 25
pE 7 #asignado por la profundidad#
units ppm
Ca      4
Mg      2
Na      551
K       0
Cl      80
C(4)    1098 as HCO3
S(6)    119 as SO4-2
save solution 1
END
#PAso 2, eliminar las concentraciones que están por sobresaturación#
USE SOLUTION 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
Calcite     0.0   10.0  # Precipita si se satura
Dolomite    0.0   10.0  # Precipita si se satura
save SOLUTION 2
```

```
end
# --- PASO 3: LLEVAR A LA PRECIPITACIÓN DE MINERALES ENRIQUECIDOS EN SODIO ---
USE SOLUTION 2
equilibrium_phases
halite -10
save solution 1
end
USE SOLUTION 2
equilibrium_phases
Montmor-Na -0.1
save solution 1
END
```

ESCENARIO 4.

```
TITLE Caso 9 - Simulación Optimizada para alcanzar la Muestra M-723

# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE LOS END-MEMBERS ---
SOLUTION 1 Muestra Bicarbonatada Sódica Precursora (M-725)
   temp      25
   pH       7.0
   units     ppm
   Ca       4
   Mg       2
   Na       551
   Cl       80
   C(4)     1098 as HCO3
   S(6)     119 as SO4
SAVE solution 1
END

SOLUTION 2 Muestra Clorurada Magnésica (M-846)
   temp      25
   pH       7.26
   units     ppm
```

```
   Ca       110
   Mg       314
   Na       111
   Cl       721
   C(4)     721 as HCO3
   S(6)     318 as SO4
SAVE solution 2
END

# --- PASO 2: MEZCLA HIDRODINÁMICA AJUSTADA ---
# Nota: 92.2% de M-725 y 7.8% de M-846#
MIX 1
   1    0.880    # M-725 (88%)
   2    0.120    # M-846 (12%)
SAVE solution 3
END

# --- PASO 3: COMPLEJO DE INTERCAMBIO CATIÓNICO (EL REACTOR DE ARCILLA) ---
# Seteamos la arcilla rica en Mg y Ca para que absorba el enorme exceso de Na del fluido#
EXCHANGE 1 Complejo activo de la cuenca
   CaX2      0.01    # Calcio en los sitios activos
   MgX2      0.90
   NaX       0.09    # Muy bajo sodio inicial para asegurar la adsorción neta
SAVE exchange 1
END

# --- PASO 4: REACTOR INTERGADO FINAL (EQUILIBRIO AGUA-ROCA) ---
USE solution 3
USE exchange 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
   Calcite   0.0   10.0
   Dolomite  0.0   10.0
   CO2(g)    -2.25  10.0
SAVE solution 4
END
```

CASO 10. MUESTRAS CON SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES MENORES A MAYOR PROFUNDIDAD
ESCENARIO 1.

```
Title Caso 10. Muestras con salinidades menores en profundidades mayores desde mezcla de aguas
# --- PASO 1: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA CONNATA CLORURADA SÓDICA---
solution 1 Aguas Facies clorurada_sódica SALMUERAS Subfacies mezcla (Muestra M-319)
  temp      40.0
   pH       7.60
   pE           -4 #asignado por profundidad#
   units     ppm
   Ca       97.60
   Mg        11.70
   Na       21664.90
   K        0.00
   Cl       33320.00
   C(4)      256.20 as HCO3
   S(6)      192.00 as SO4
save solution 1
end

# --- PASO 2: DEFINICIÓN DE LA MUESTRA DULCE BICARBONATADA SÓDICA---
solution 2 Facies bicarbonatada_sódica SALOBRES Subfacies dulce con SDT de medio a alto (Muestra M-798)
   temp      27.0
   pH       8.00
   pE           -4 #asignado por profundidad#
   units     ppm
   Ca       14.50
   Mg        16.00
   Na       940.20
   K        0.00
   Cl       107.70
   C(4)      2048.10 as HCO3
   S(6)      77.80 as SO4
save solution 2
end

# --- PASO 3: PROCESO DE MEZCLAS ENTRE AGUAS CONNATAS CLORURADA SÓDICA CON LAS MUESTRAS DE AGUA DULCE BICARBONATADA SÓDICA---
```

```
MIX #2% AGUA CON ALTO SDT#
1 2
2 98
save solution 3
end

# --- PASO 4:Forzar la transferencia de masa mineral observada en el modelo inverso#
USE solution 3
EQUILIBRIUM_PHASES 1 Reacción con la roca del subsuelo
   Dolomite  0.0  -4.063e-04  precipitate_only
   Gypsum    0.0   5.987e-04  dissolve_only
SAVE solution 4
END
```

ESCENARIO 2

```
TITLE Caso 10. Evolución de M-798 hacia M-312 mediante Interacción Mineral e Intercambio Iónico

# ======================================================================
# PASO 1: DEFINICIÓN DE LA SOLUCIÓN AGUA DULCE BASE (M-798)
# ======================================================================
SOLUTION 1 Facies bicarbonatada_sódica (Muestra M-798)
   temp      27.0
   pH        8.00
   pE        -4
   units     ppm
   Ca        14.50
   Mg        16.00
   Na        940.20
   K         0.00
   Cl        107.70
   C(4)      2048.10 as HCO3
   S(6)      77.80 as SO4
END
```

```
# ======================================================================
# PASO 2: DEFINICIÓN DE LAS ARCILLAS DEL RESERVORIO (INTERCAMBIO)
# ======================================================================
EXCHANGE 1 Matriz arcillosa del yacimiento
   -equilibrate with solution 1
   X      0.08   # Capacidad de Intercambio Catiónico (moles)
END

# ======================================================================
# PASO 3: TRANSFERENCIA DE MASA MINERAL DIRECTA (SIN MEZCLAS)
# ======================================================================
USE solution 1
USE exchange 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1 Interacción en el Reservorio Tigre / Oficina
   Halite    0.0   1.95e-02  dissolve_only    # Disuelve sal para subir el Cloro de 107 a 800 ppm
   Gypsum    0.0   1.06e-03  dissolve_only    # Disuelve yeso para elevar Sulfatos a 180 ppm
   Dolomite  0.0  -3.78e-04  precipitate_only # Precipita el exceso de Mg para fijarlo en 6.8 ppm
   Calcite   0.0  -1.20e-03  precipitate_only # Controla el Calcio y remueve el exceso de HCO3
SAVE solution 2

END

Especiación química
SELECTED_OUTPUT
   -file SALIDA_PIRITA_BARINAS.csv
   -saturation_indices Pyrite
   -totals Fe S(6)
END

title FACIES BICARBONATADA sódica SALOBRE - POZO M-863
solution 1 Aguas BICARBONATADA sódica SALOBRE (Muestra M-863)
temp 97.88999999999896
pH 7.0
pe         -4 # <-- pE ASIGNADO POR PROFUNDIDAD (M-863)
units ppm
Ca         26.0
```

```
Mg        4.86
Na        1239.2
K         0.0
Cl        119.97
C(4)      550.0 as HCO3
S(6)      0.0 as SO4-2
Fe        0.0 # S/INF en Base de Datos
save solution 1
REACTION_TEMPERATURE 1
    25.0  50.0   100.0          150.0
end
Especiación química en contacto con minerales
Archivo de entrada generado para la Cuenca Barinas Apure
# Simulaci?n: REACTION (Por defecto 0.1 mol de reacci?n)

title FACIES BICARBONATADA SÓDICA SALOBRE - POZO M-863 (BASE)
solution 1 Aguas BICARBONATADA SÓDICA SALOBRE (Muestra M-863)
   temp 97.89
   pH 7.0
   pe        -4 # <-- pE ASIGNADO POR PROFUNDIDAD (M-863)
   units ppm
   Ca        26.0
   Mg        4.86
   Na        1239.2
   K         0.0
   Cl        119.97
   C(4)      550.0 as HCO3
   S(6)      0.0 as SO4-2
save solution 1
END

title Reaccion calcita - POZO M-863
USE solution 1
REACTION 1
   Calcite 0.1
END
```

```
title Reaccion Pirita - POZO M-863
USE solution 1
REACTION 1
   Pyrite 0.1
END

title Reaccion Anhidrita - POZO M-863
USE solution 1
REACTION 1
   Anhydrite 0.1
END

title Reaccion yeso - POZO M-863
USE solution 1
REACTION 1
   Gypsum 0.1
END

title Reaccion dolomita - POZO M-863
USE solution 1
REACTION 1
   Dolomite 0.1
END

title Reaccion Halita - POZO M-863
USE solution 1
REACTION 1
   Halite 0.1
END

title Reaccion Ortoclasa - POZO M-863
USE solution 1
REACTION 1
   K-feldspar 0.1
END
```

Especiación química en contacto con lodo tipo salmuera o agua meteórica

Con agua meteórica

```
# --- AGUA METEORICA DE RECARGA ---
title AGUA METEORICA - POZO M-1002
solution 1002 Aguas bicarbonatada_SÓDICA DULCES (Muestra M-1002)
temp 37.0
pH 7.0
pe        7 # <-- pE ASIGNADO POR PROFUNDIDAD (M-1002)
units ppm
Ca        6.1
Mg        1.8
Na        109.7
K         69.9
Cl        3.0
C(4)      418.0 as HCO3
S(6)      0.2 as SO4-2
Fe        0.0 # S/INF en Base de Datos
Al        1.0 Kaolinite 0.0 #CONCENTRACIÓN NO DISPONIBLE EN LA BASE DE DATOS, PERO SE ASIGNA PARA QUE SE ESTIME EL IS DE LAS ARCILLAS#
Si        1.0 Quartz 0.0 #CONCENTRACIÓN NO DISPONIBLE EN LA BASE DE DATOS, PERO SE ASIGNA PARA QUE SE ESTIME EL IS DE LAS ARCILLAS#
save solution 1002
END

# ==========================================
# MEZCLA: M-1002 con M-863 (BICARBONATADA SÓDICA SALOBRE)
# ==========================================
title AGUA DE YACIMIENTO - POZO M-863
solution 1 Aguas BICARBONATADA SÓDICA SALOBRE (Muestra M-863)
temp 97.88999999999896
pH 7.0
pe        -4 # <-- pE ASIGNADO POR PROFUNDIDAD (M-863)
units ppm
Ca        26.0
Mg        4.86
Na        1239.2
K         0.0
Cl        119.97
C(4)      550.0 as HCO3
```

```
S(6)       0.0 as SO4-2
Fe         0.0 # S/INF en Base de Datos
Al         1.0 Kaolinite 0.0 #CONCENTRACIÓN NO DISPONIBLE EN LA BASE DE DATOS, PERO SE ASIGNA PARA QUE SE ESTIME EL IS DE LAS ARCILLAS#
Si         1.0 Quartz 0.0 #CONCENTRACIÓN NO DISPONIBLE EN LA BASE DE DATOS, PERO SE ASIGNA PARA QUE SE ESTIME EL IS DE LAS ARCILLAS#
save solution 1
END

title MEZCLA_25met_M-863
MIX
   1002 0.25
   1    0.75
REACTION_TEMPERATURE
   97.89
END

title MEZCLA_50met_M-863
MIX
   1002 0.5
   1    0.5
REACTION_TEMPERATURE
   97.89
END

title MEZCLA_75met_M-863
MIX
   1002 0.75
   1    0.25
REACTION_TEMPERATURE
   97.89
END
Invasión de lodo
# --- LODO BASE AGUA (FILTRADO) ---
title LODO BASE AGUA - POZO M-873
solution 873 Aguas CLORURADA + BICARBONATADA SÓDICA MUY DILUIDA  SALINA (Muestra M-873)
temp 118.66
pH 5.5
```

```
pe        -4 # <-- pE ASIGNADO POR PROFUNDIDAD (M-873)
units ppm
Ca        633.0
Mg         63.0
Na        3181.0
K         0.0
Cl        3600.0
C(4)       3600.0 as HCO3
S(6)       33.0 as SO4-2
Fe         0.0 # S/INF en Base de Datos
Al         1.0 Kaolinite 0.0 #CONCENTRACIÓN NO DISPONIBLE EN LA BASE DE DATOS, PERO SE ASIGNA PARA QUE SE ESTIME EL IS DE LAS ARCILLAS#
Si         1.0 Quartz 0.0 #CONCENTRACIÓN NO DISPONIBLE EN LA BASE DE DATOS, PERO SE ASIGNA PARA QUE SE ESTIME EL IS DE LAS ARCILLAS#
save solution 873
REACTION_TEMPERATURE 3
    25.0  50.0   100.0          150.0
save solution 873
END

# ==========================================
# INVASION DE FILTRADO: M-873 en M-863
# ==========================================
title AGUA DE YACIMIENTO - POZO M-863
solution 12 Aguas BICARBONATADA SÓDICA SALOBRE (Muestra M-863)
temp 97.88999999999896
pH 7.0
pe        -4 # <-- pE ASIGNADO POR PROFUNDIDAD (M-863)
units ppm
Ca        26.0
Mg         4.86
Na        1239.2
K         0.0
Cl        119.97
C(4)       550.0 as HCO3
S(6)       0.0 as SO4-2
Fe         0.0 # S/INF en Base de Datos
Al         1.0 Kaolinite 0.0 #CONCENTRACIÓN NO DISPONIBLE EN LA BASE DE DATOS, PERO SE ASIGNA PARA QUE SE ESTIME EL IS DE LAS ARCILLAS#
```

```
Si        1.0 Quartz 0.0 #CONCENTRACIÓN NO DISPONIBLE EN LA BASE DE DATOS, PERO SE ASIGNA PARA QUE SE ESTIME EL IS DE LAS ARCILLAS#
save solution 12
END

title INVASION_20LODO_M-863
MIX
   873 0.2
   12   0.8
REACTION_TEMPERATURE
   97.88999999999896
END

title INVASION_50LODO_M-863
MIX
   873 0.5
   12   0.5
REACTION_TEMPERATURE
   97.88999999999896
END

title INVASION_80LODO_M-863
MIX
   873 0.8
   12   0.19999999999999996
REACTION_TEMPERATURE
   97.88999999999896
END
```