

**BIOGEOGRAFÍA Y PATRONES ACTUALES DE
COMPOSICIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL PATRÓN LEOPARDO
(LEOPARD BUSH) AL NORTE DE SUR AMÉRICA.**



TESIS DOCTORAL

JOSE EDUARDO FUENTES DELGADO

PARTE IV



Mujer indígena con su traje tradicional

CAPÍTULO 4 (RESULTADOS)

IV RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS UNIDADES DE PAISAJE

Un paisaje está compuesto por una serie de elementos de paisaje (componentes estructural-funcionales) los cuales corresponden a porciones homogéneas de espacio geográfico equiparables a la noción de ecosistema. Los elementos de paisaje son el resultado de la interacción de los factores formadores del paisaje (geología, clima, hidrología, suelos, vegetación, fauna, el hombre), así como, de su variabilidad a través del espacio geográfico a lo largo del tiempo. El análisis fisiográfico es un método para el estudio de la superficie de la tierra, el cual se fundamenta en la relación que hay entre la geomorfología, los suelos, y la vegetación. Según éste, se asume que el suelo y la vegetación son resultados de la síntesis ecológica y de los elementos del paisaje, del ambiente geomorfológico (determinado por el relieve), el material parental y el tiempo que junto con el clima son los factores físicos formadores de ese paisaje; la cobertura vegetal y el uso de la tierra constituyen sus factores biológicos y socioeconómicos. A partir del análisis fisiográfico, se desarrolla el sistema de clasificación fisiográfica del terreno CIAF, que permite visualizar la relación entre todos estos aspectos; el cual tiene un carácter multicategoríco, que involucra a la mayoría de los elementos medioambientales comprometidos con la génesis de las geoformas. La clasificación fisiográfica del terreno permite a la vez jerarquizar una zona cualquiera, de lo general a lo particular, con el ánimo que puedan utilizarse a distintas escalas y con diferente nivel de detalle. Para desarrollar las unidades de paisaje fisiográfico se utilizaron algunos de los productos, descritos anteriormente (Modelo de terreno, Cobertura vegetal, Mapas de suelos, mapa geomorfológico, mapa geológico y datos climáticos), así como, se crearon nuevos productos y se reinterpretaron otros para ajustarse a la escala de trabajo 1:10.000 mucho más detallada que los mapas generales que abarcan el área de estudio. Se comenzó por codificar las distintas variables involucradas en la asignación de atributos temáticos de la unidad de paisaje (codificación de clases). Las clases codificadas para la generación del mapa y leyenda de unidades de paisaje, fue la suma de los diferentes atributos simplificados en un código máximo de cinco caracteres por entidad atributiva, como se ve en el siguiente ejemplo (Tabla 24).

Tabla 24. Codificación de unidades de paisaje.

Clase	Nombre	Código
Unidad climática	Hyperarido	HA
Geología	Terrazas Aluviales, Deposito de Grava	Qt
Geomorfología	Glacis	Gla
Suelos	Typic Haplocalcids	PZBc
Cobertura	Arbustal	Ar
Unidad de paisaje	Código =	HA, Qt, Gla, PZBc, PZBc, Ar

4.1.1 Mapa de unidades de paisaje

Luego de tener las geoformas generadas con el índice de posición topográfica y los mapas complementarios, se procedió a utilizar el sistema de clasificación fisiográfica CIAF. En éste, se describe un método para clasificar jerárquicamente a las unidades de terreno, derivadas de la interpretación de los productos anteriores, para poder obtener la identificación de Geoformas. Tales unidades se establecen mediante el análisis integrado de geomorfología y suelos que se enmarcan dentro de condiciones climáticas y de vegetación definida, con la información teórica de los procesos geomorfológicos del sistema y la sobre posición en base al resultado final del TPI. El mapa es el resultado de la integración entre la información codificada en base a la suma de todos los atributos temáticos (unidad climática, unidad geológica, unidad geomorfológica, unidad de suelos, cobertura vegetal) y que resulta en un código único, que identifica las unidades de paisaje (Tabla 25). Se lograron aislar 7 unidades distintas, las cuales representan los aspectos fisiográficos síntesis más relevantes en los que se puede subdividir el paisaje del área (Figura 76). Conforme a Tricart (1982) cuando se habla de zonificación del territorio, se refiere a un concepto geográfico de regionalización que significa desagregar el espacio en zonas o áreas que delimitan algún rasgo específico o con cierta homogeneidad interna. En ese sentido, el establecer un marco de referencia espacial que oriente la delimitación de un área a efectos de un determinado análisis es una metodología efectiva para entender la dinámica de un territorio.

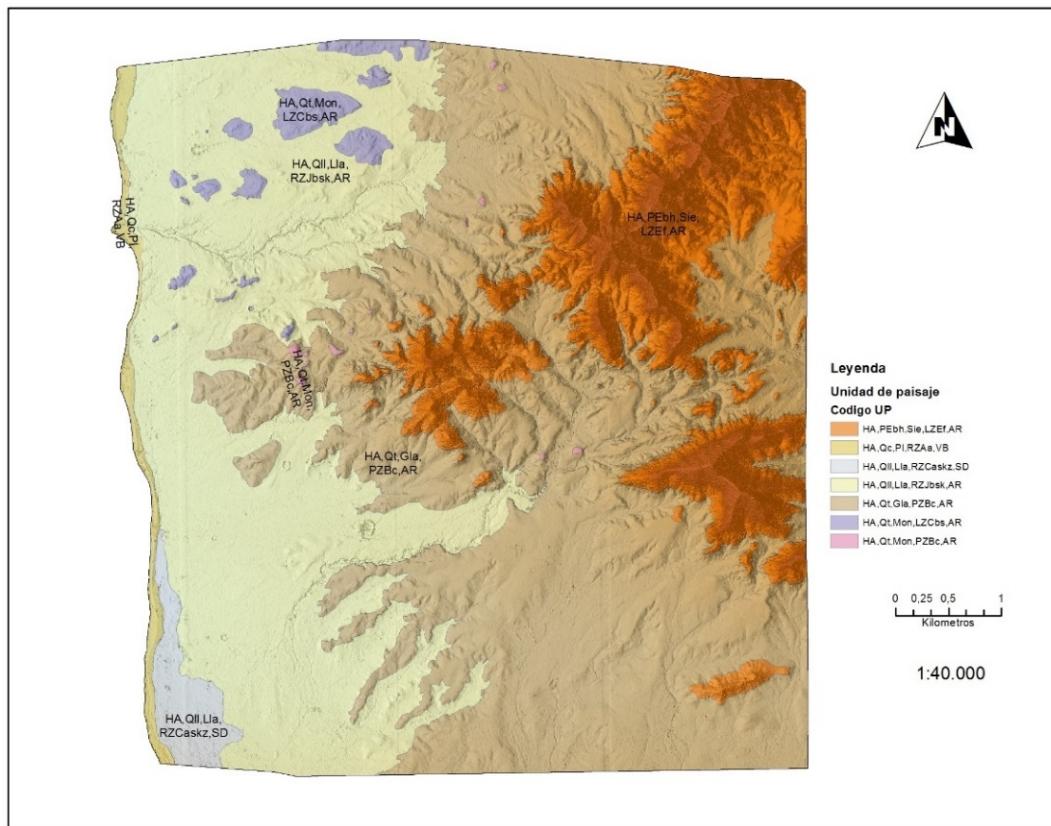


Figura 76. Mapa de unidades fisiográficas de paisaje del área de estudio (Ver mapa en Anexo 10).

4.1.2 Leyenda de unidades de paisaje

A partir del mapa del análisis fisiográfico, se desarrolló la leyenda del sistema de clasificación fisiográfica del terreno para el área de estudio, la leyenda fisiográfica es el resultado complementario del mapa de paisajes, en éste se identifican y se visualizan las distintas interrelaciones de los atributos temáticos que definieron las unidades de paisaje, así como, su código específico para facilitar la identificación e interpretación del mapa de unidades de paisajes (Tabla 25).

Tabla 25. Leyenda de unidades fisiográficas de paisaje (Ver en Anexo 11).

Unidad climática	I d U c	Geología	Id Geol	Unidad geomorfolo gica	Id_Ge omor	Suelo	Id suelo	Cobertur a	Id_C ober	UP CODE
Desierto (Hiperarido)	H	Terrazas Aluviales								
	A	Deposito de Grava	Qt	Monticulos (lomerios)	Mon	Typic Haplocalcids	PZBc	Arbustal	AR	HA,Qt,Mon, PZBc,AR
Desierto (Hiperarido)	H	Depositos costeros de playon y barra	Qc	Playa	Pl	Typic Torripsamm ents	RZAA	Vegetacion baja	VB	HA,Qc,Pl,RZ Aa,VB
Desierto (Hiperarido)	H	Grupo Bahia Honda	PEbh	Sierra	Sie	Lithic Torriorthent s	LZEf	Arbustal	AR	HA,PEbh,Sie LZEf,AR
Desierto (Hiperarido)	A	Depositos de llanuras aluviales	QII	Llanura costera	Lla	Typic Haplocambi ds	RZJbs k	Arbustal	AR	HA,QII,Lla,R ZJbsk,AR
Desierto (Hiperarido)	H	Terrazas Aluviales								
	A	Deposito de Grava	Qt	Glacis	Gla	Typic Haplocalcids	PZBc	Arbustal	AR	HA,Qt,Gla,P ZBc,AR
Desierto (Hiperarido)	H	Depositos de llanuras aluviales	QII	Llanura costera	Lla	Typic Aquasalids	RZCas kz	Sin o poca vegetacion	SD	HA,QII,Lla,R ZCas,kz,SD
Desierto (Hiperarido)	A	Terrazas Aluviales								
		Deposito de Grava	Qt	Monticulos (lomerios)	Mon	Sodic Haplocambi ds	LZCbs	Arbustal	AR	HA,Qt,Mon, LZCbs,AR

4.2 FACTORES ABIÓTICOS

Los factores abióticos relacionados con la formación del patrón Leopardo son un elemento determinante en el espacio físico en el cual habitan los seres vivos (Plantas, animales y seres humanos) principalmente por su efecto sobre la producción primaria y la disponibilidad de recursos, entre los más importantes afines al desarrollo del patrón podemos encontrar:

4.2.1 Suelos

El suelo es uno de los componentes naturales más importantes del paisaje al igual que la vegetación y los recursos hídricos. El suelo es un cuerpo natural conformado por una conexión de elementos y procesos, resultado de su localización y del contacto de la atmósfera con la superficie de la corteza. Colombia al ubicarse entre los trópicos y el ecuador tiene presencia de zonas muy húmedas y al mismo tiempo extremadamente secas, este es el caso de la península de la Guajira donde la falta de procesos muy intensos de lixiviación la predispone a tener suelos básicos o alcalinos con alto contenido de sales. En el cabo de la vela (área de estudio) los suelos presentes son en su mayoría Aridisoles (Typic Haplocambids, Typic Haplocalcids y Sodic Haplocambids) son suelos jóvenes y poco evolucionados muy relacionados con las formaciones geomorfológicas (Figura 77), no tienen un perfil de suelo bien desarrollado pero muestran la formación de un horizonte débil. En algunos lugares las aguas con contenidos de sales disueltas se evaporan en la superficie; resultando a menudo en una fina capa de sal en la superficie del suelo a diferencia de las grandes acumulaciones en la llanura costera donde los cuerpos de agua temporales (Salares) generan depósitos de mayor grosor presentando suelos tipo Typic Aquisalids. Por otro lado, existe presencia de Entisoles en los suelos de playa conformados por Typic Torripsamments y el área más alta (Serranía) la unidad geomorfológica es dominada por aluviones muy gruesos que desarrollan suelos Lithic Torriorthent.

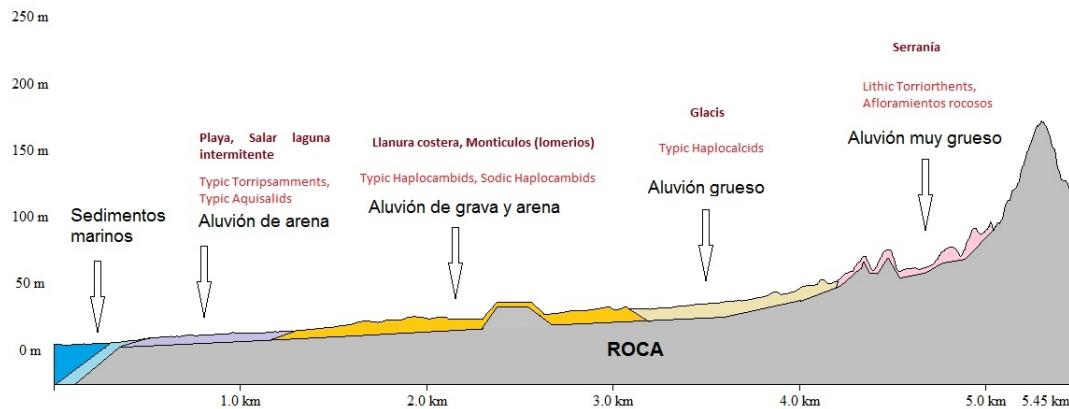


Figura 77. Perfil topográfico que muestra la relación de sedimentos, suelo y geoforma.

En los lugares donde predominan los Aridisoles se encuentra un limitado crecimiento de la vegetación siendo evidente un alto contenido de sales, horizontes petrocálcicos y horizontes sementados; en las zonas altas casi no hay presencia de vegetación al aflorar el material parental o roca madre al igual que en la parte de playa y en las zonas con presencia de depósitos salinos en la llanura costera. Los suelos del área de estudio se clasifican en seis taxones de suelos dentro de dos grandes ordenes (Figura 78).

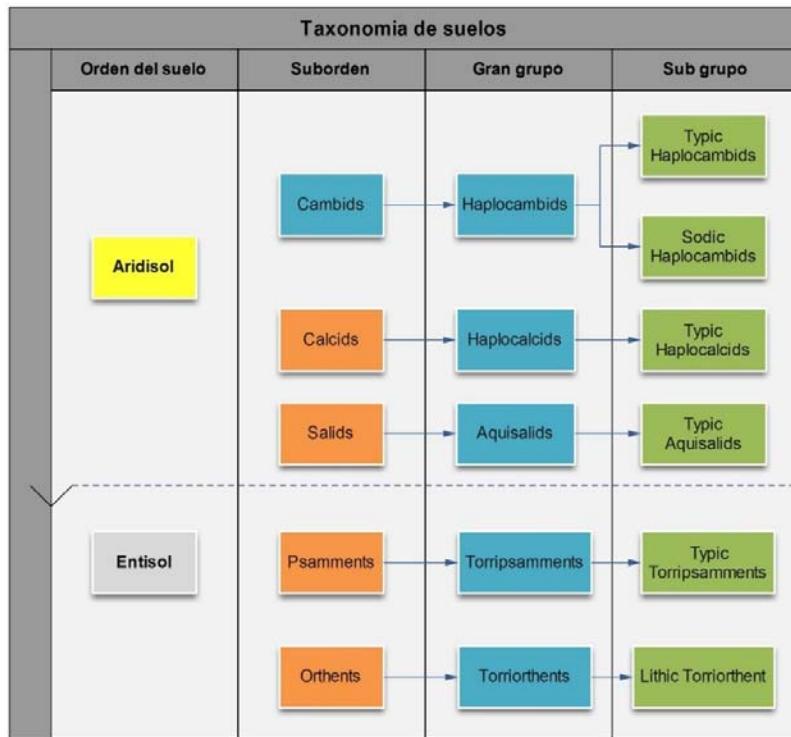


Figura 78. Taxonomía de suelos según la clasificación USDA en el área de estudio.

4.2.2 Temperatura y precipitación

El Cabo de la Vela se encuentra en una de las regiones de Colombia donde los datos climatológicos se ven afectados por la falta de estaciones funcionales o por la falta de información. Un ejemplo de esto es la misma estación denominada Cabo de la Vela la cual fue puesta en funcionamiento en agosto de 1971 y suspendida en febrero de 1977 teniendo una duración de 6 años. Por esta razón se realizó un análisis de la estación meteorológica más cercana con los datos más confiables y completos para obtener el climograma característico del área, la estación escogida fue la denominada Puerto Bolívar (Figura 79).

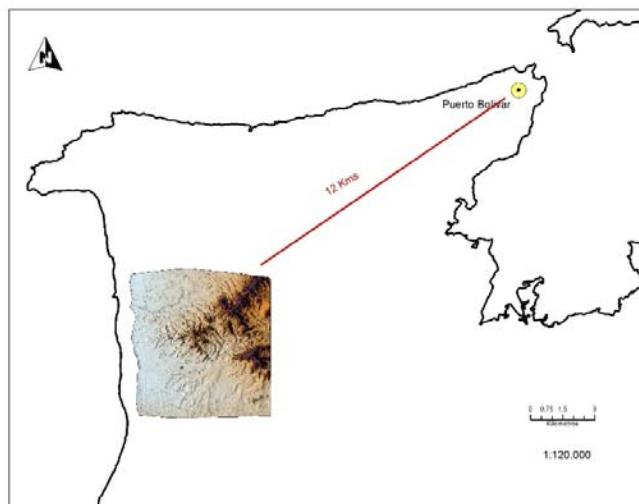


Figura 79. Estación climatología utilizada para caracterizar el área de estudio.

Esta estación es la más confiable debido a que se encuentra a 12 kms del Cabo de la Vela ubicada en el puerto de exportación de carbón de una de las mayores productoras del mundo (Cerrejón) y al tener gran tráfico marítimo los datos meteorológicos son registrados todos los días de manera más fiable. El periodo utilizado fue de 27 años, el más largo posible (1986 – 2013) para caracterizar el área en cuanto a su climatología. La temperatura promedio del área fue de 28.45°C siendo los meses de junio, julio y agosto los de mayor temperatura (Figura 80).

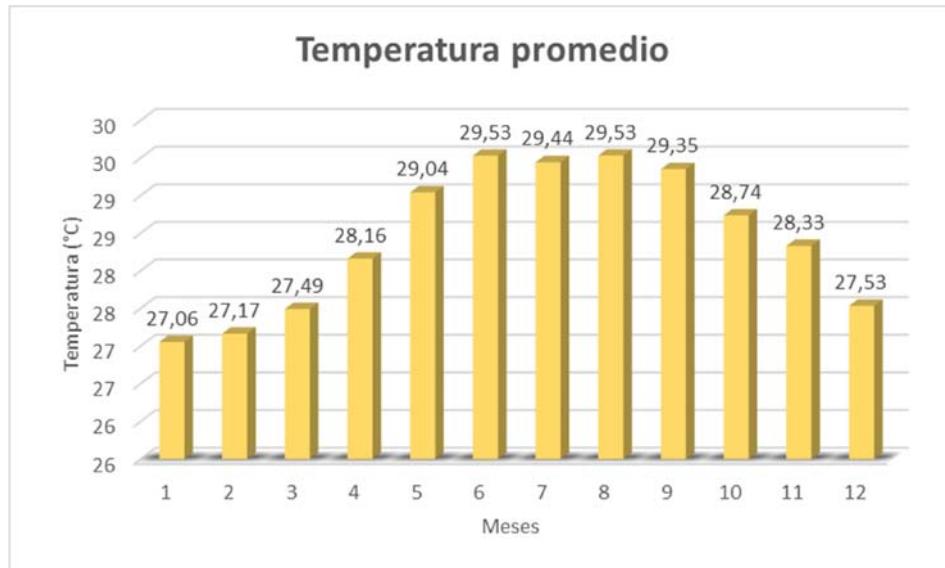


Figura 80. Gráfico de temperatura promedio en el periodo 1986 - 2013.

La precipitación promedio del área fue de 27,82 mm siendo el mes de Octubre el de mayor precipitación con 100.41 mm y el mes de febrero con 1.41 mm el mes con menor precipitación (Figura 81).

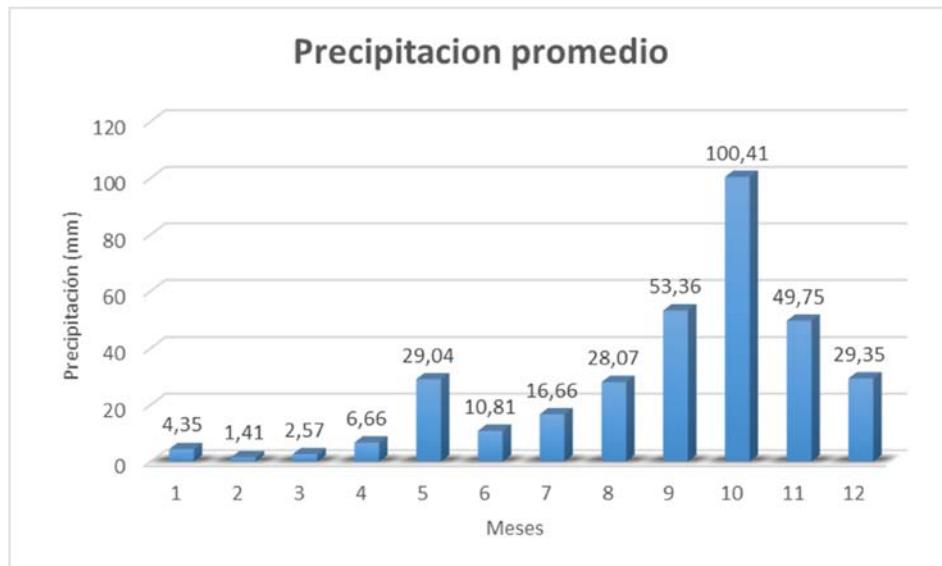


Figura 81. Gráfico de precipitación promedio en el periodo 1986 - 2013.

Se calculó nuevamente el índice De Martonne con los datos promedios arrojando un valor de 9.41 lo que ubica el área en Semidesierto (Árido) al encontrarse en el rango de 5 a 10 de la clasificación. En el análisis de la aridez espacial se tomaron datos interpolados con 6 estaciones de solo el año 2012 lo que muestra una variación específica en ese periodo sobre el área con lo cual no se puede realizar una caracterización definitiva sino temporal a diferencia de los datos promedio, que si son suficientemente concluyentes para brindar una característica específica de la zona circundante al área de estudio en el periodo 1986 - 2013. El climograma del área (Figura 82) representa las precipitaciones y las temperaturas mostrando claramente que las precipitaciones son inferiores a la temperatura media en casi todos los meses, exceptuando octubre (periodo húmedo). El climograma indica que la zona es árida coincidiendo con el índice De Martonne, porque la curva de las precipitaciones está por debajo de la curva de las temperaturas 11 de los 12 meses del año.

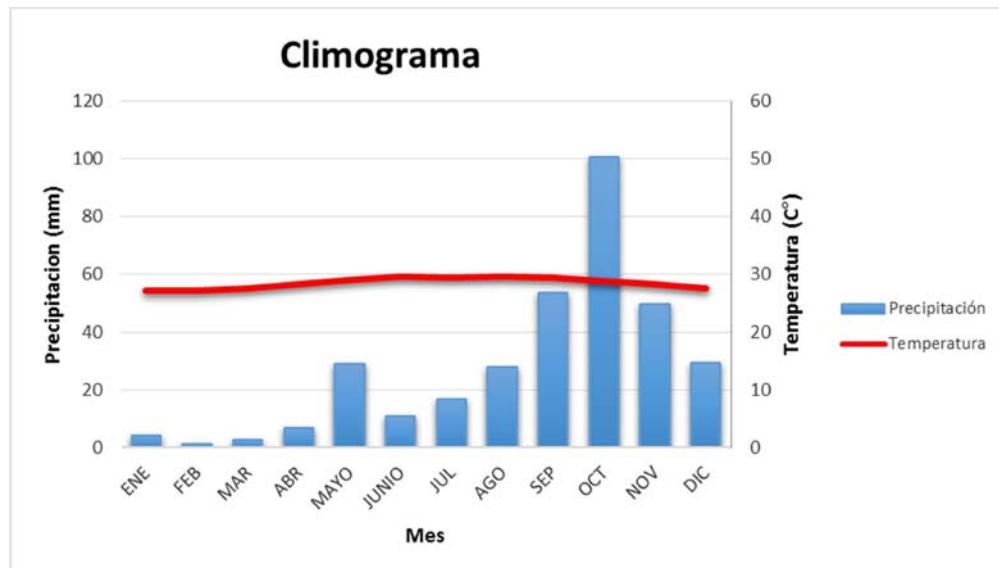


Figura 82. Climograma del área cercana (Puerto Bolívar) a la zona de estudio 1986 - 2013.

4.2.3 Vientos

Para analizar y caracterizar los vientos del área (Circulación terciaria) se contó con los datos promedio de 2012 de las nueve estaciones de medición de viento de EPM que se encuentran ubicadas alrededor de la península (Figura 83). Los datos de viento fiables eran casi inexistentes hasta hace unos años que se iniciaron las mediciones para fines eólicos comerciales. Con la información de velocidad y dirección se realizó una interpolación con el método IDW (ponderación por distancia) a una resolución de 300m. Para los datos de velocidad (Figura 84) se obtuvo un error de 3,47 mientras que para los de dirección (Figura 85) se obtuvo un error de 5,9 al calcular el RMS de cada interpolación.

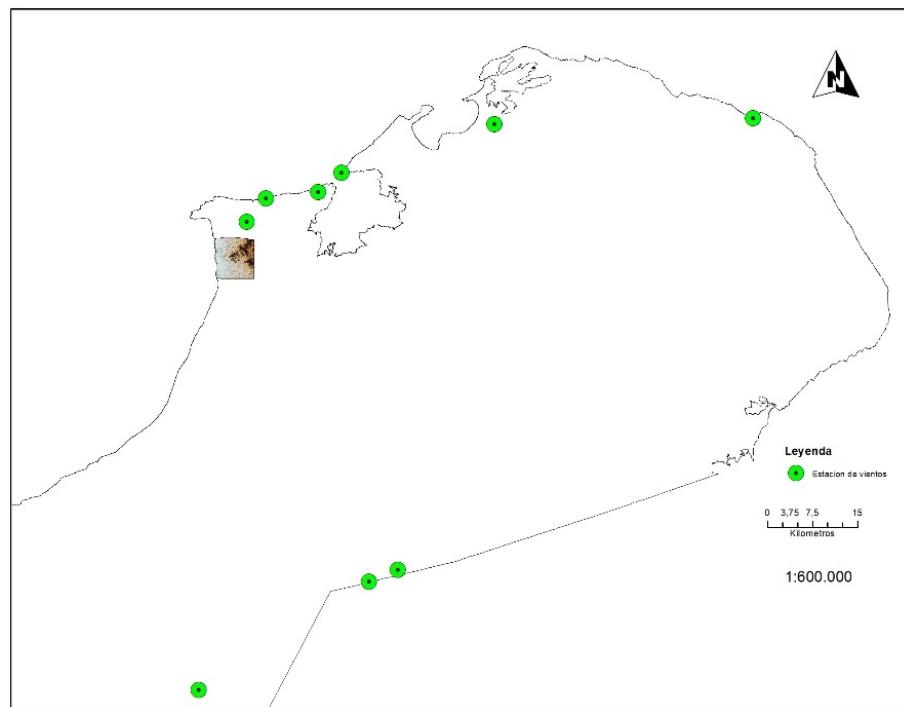


Figura 83. Ubicación de estaciones de vientos alrededor de la península

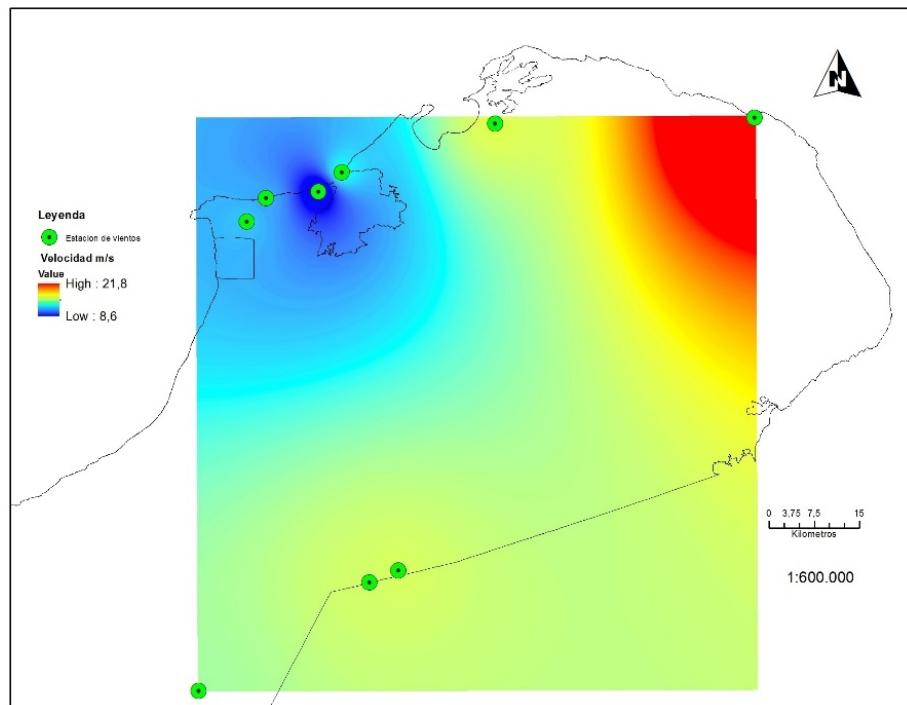


Figura 84. Interpolación IDW velocidad promedio del viento en 2012.

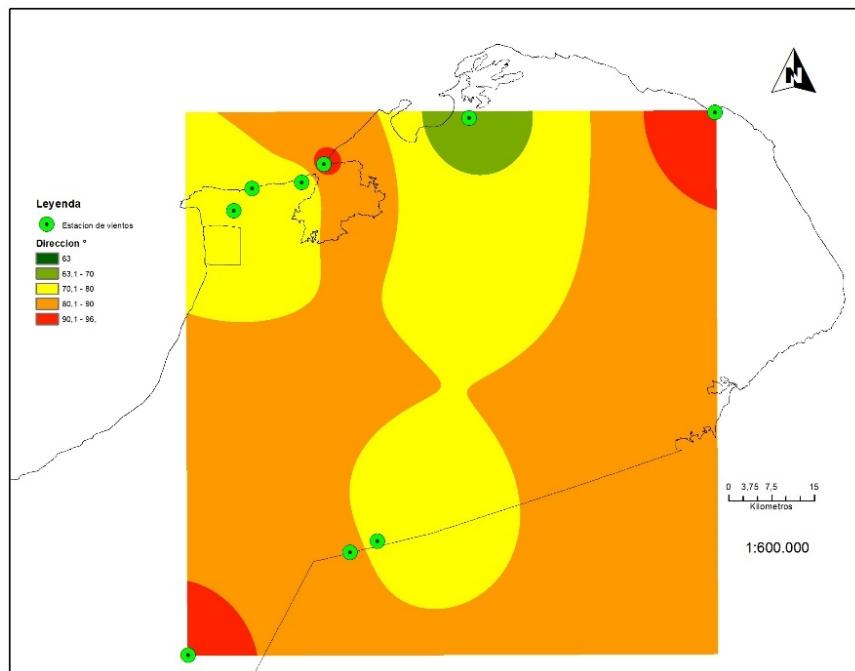


Figura 85. Interpolación IDW dirección promedio del viento en 2012.

Luego de tener los datos de vientos espacializados, se procedió a generar un corte sobre el área de estudio para extraer los datos de velocidad y dirección resultantes de los procesos de interpolación, estos valores resultantes fueron de 11,72 m/s de velocidad promedio y una dirección preponderante de 84° (Figura 86). Según la clasificación de velocidad del viento de Beaufort el área de estudio se ubicaría en brisa fuerte (Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas) de velocidad del viento en tierra.

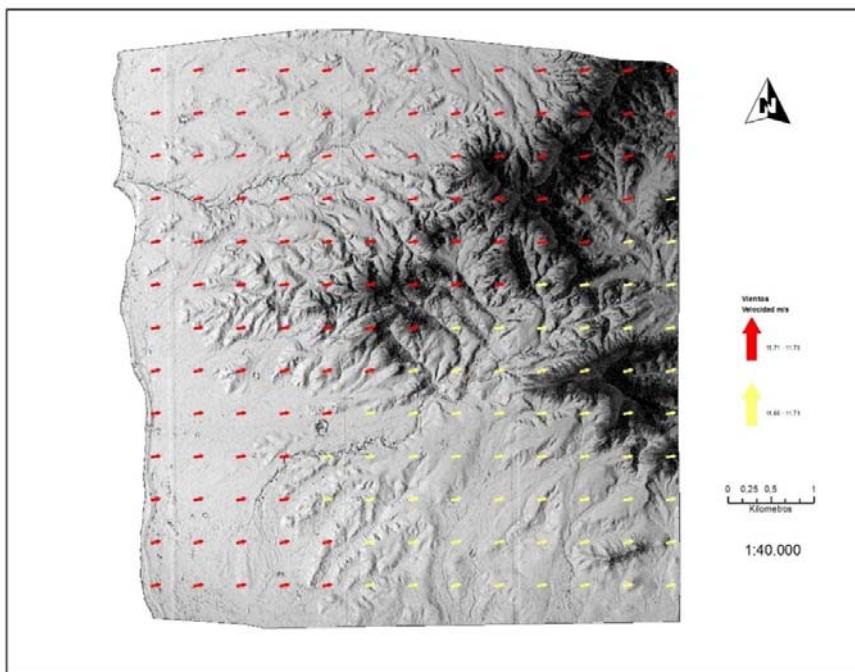


Figura 86. Velocidad y dirección promedio del viento en 2012.

También se analizó la rosa de vientos del área de estudio, esta fue realizada con el programa WRPLOT View introduciendo la información de velocidad y dirección de los vientos (Figura 87). La rosa muestra que los vientos preponderantes son dirección Noreste a 84° el 96% con una velocidad superior a los 11.1 metros por segundo

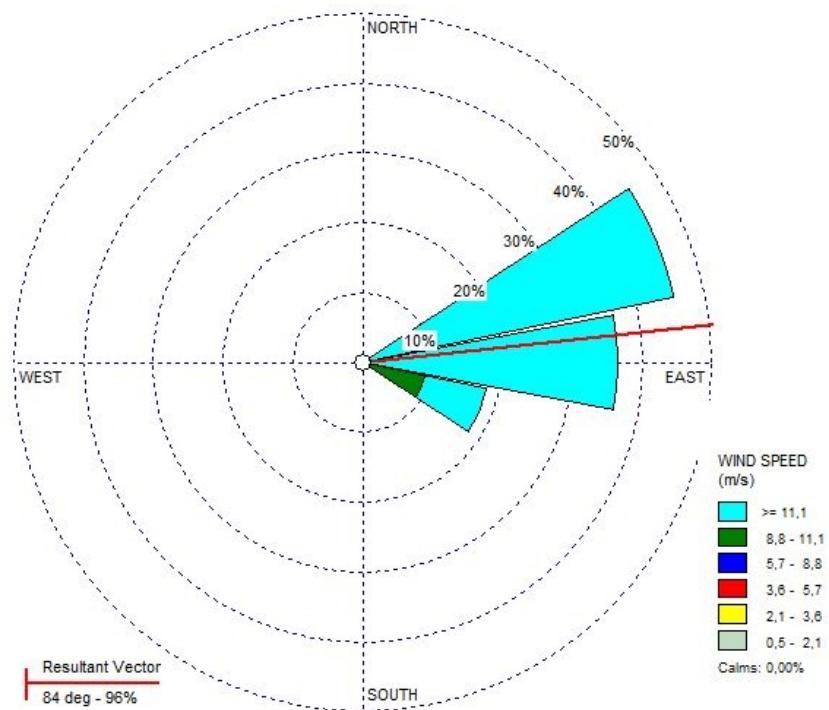


Figura 87. Rosa de los vientos en 2012 para el área de estudio.

4.2.4 Topografía y pendiente

El factor topográfico es uno de los más relacionados con el estudio de los patrones Tigre y Leopardo que se pueden encontrar en la literatura, de ahí que muchos modelos matemáticos y físicos lo tengan en cuenta. Como se mencionó anteriormente la topografía fue realizada con ayuda de información satelital y control de campo con GPS submétrico generándose un modelo de terreno de gran detalle y precisión (Figura 88).

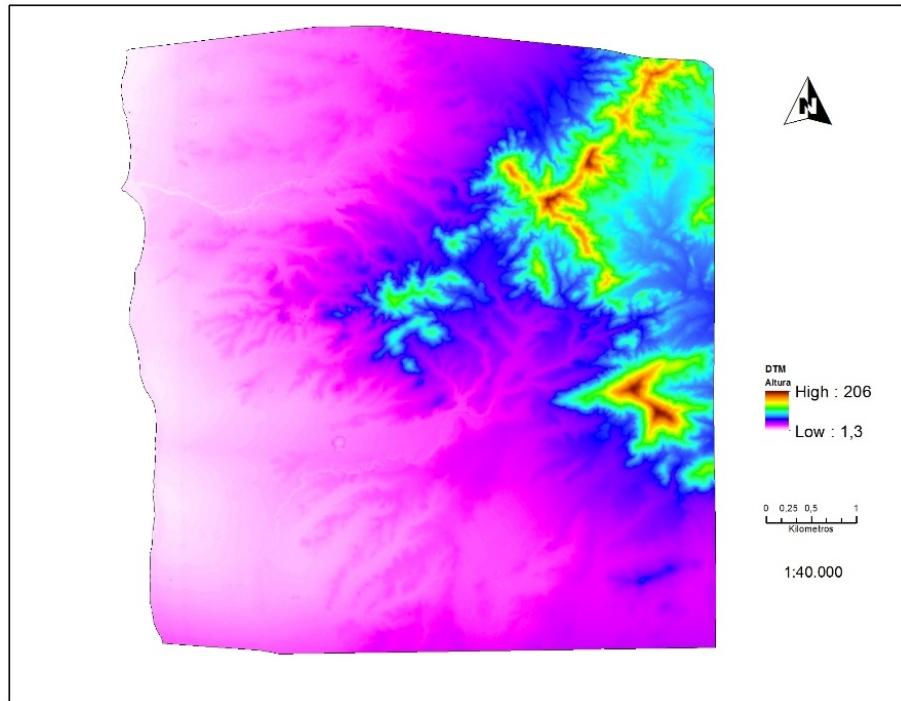


Figura 88. Topografía (modelo de elevación) del área de estudio (Ver mapa en Anexo 12).

A partir de este se generaron múltiples productos derivados, pero el principal producto derivado que tiene una relación con la topografía es la pendiente. Para calcular la pendiente se utilizó ArcGis en el cual a cada celda del modelo de elevación la herramienta pendiente calculó la tasa máxima de cambio del valor de esa celda respecto a sus vecinas, el cambio máximo en la elevación sobre la distancia entre la celda y sus ocho vecinas identifica el descenso cuesta abajo más empinado desde la celda. El ráster de pendiente se puede calcular en dos tipos de unidades: grados o porcentaje. Para el análisis del área se utilizó la pendiente en porcentaje ya que brinda un mejor entendimiento de la relación de cambio sobre el terreno y es la más utilizada en el análisis de suelos y de geomorfología. El mapa de pendientes (Figura 89) indica que en el área la pendiente promedio es de 6,3 y la pendiente máxima de 87,3 grados revelando que la zona es en su mayoría muy plana con algunas zonas de pendiente en la parte alta donde se ubica la serranía y zonas de montaña.

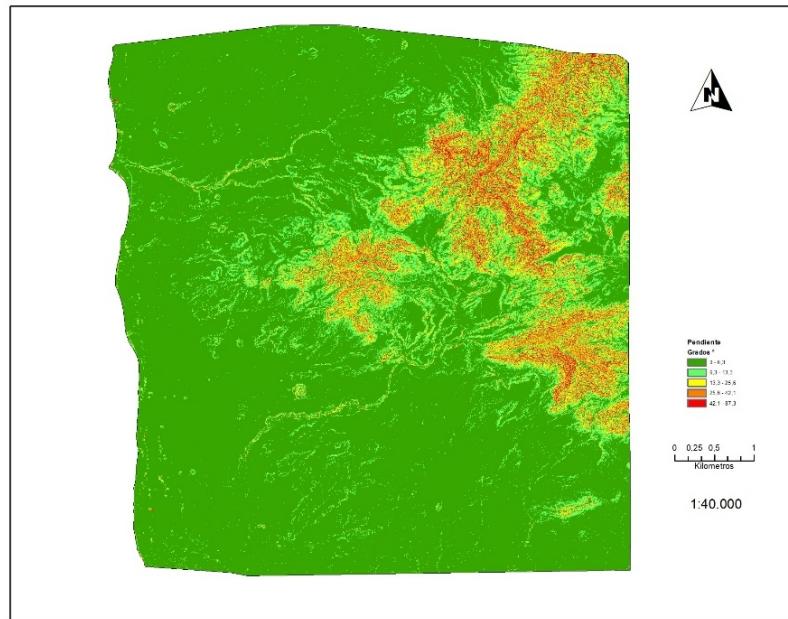


Figura 89. Modelo de pendientes (Ver mapa en Anexo13).

4.2.5 Humedad del suelo

En el análisis de este factor se utilizó el índice de humedad topográfica, este es un parámetro que relaciona el área de drenaje con la pendiente revelando las zonas donde el agua entra en saturación, se encuentra muy relacionado con la disponibilidad de agua para las plantas en el suelo. En el desarrollo de este mapa se utilizó el modelo de elevación más la fórmula del índice, este reveló que existen muchas zonas donde se puede llegar a generar puntos de saturación con un rango de valores de entre -2 y 15, para ello se clasificó el mapa en tres clases en el términos alto, medio y bajo (Figura 90).

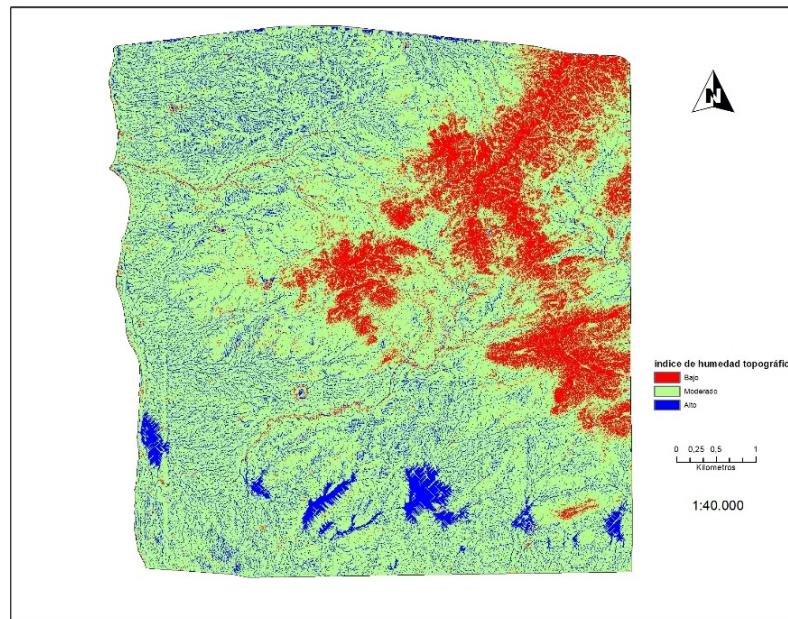


Figura 90. Modelo de humedad topográfica (Ver mapa en Anexo 14).

En la salida de campo se tomaron datos de humedad de suelo con una sonda digital para tener un referente del comportamiento de esta variable en la época de lluvias (octubre) tiempo en el que fue desarrollada la salida de campo. Los puntos recopilados en la salida fueron planificados de manera sistemática pero a la hora de recolectar los datos sobre el terreno no se logró seguir el diseño, tomando los puntos de manera aleatoria simple. Dentro del recorrido en campo se realizaron 62 estaciones de captura de datos (Figura 91). En estas estaciones se registraron datos de humedad, vientos, muestras de suelos, datos GPS y parámetros climáticos.

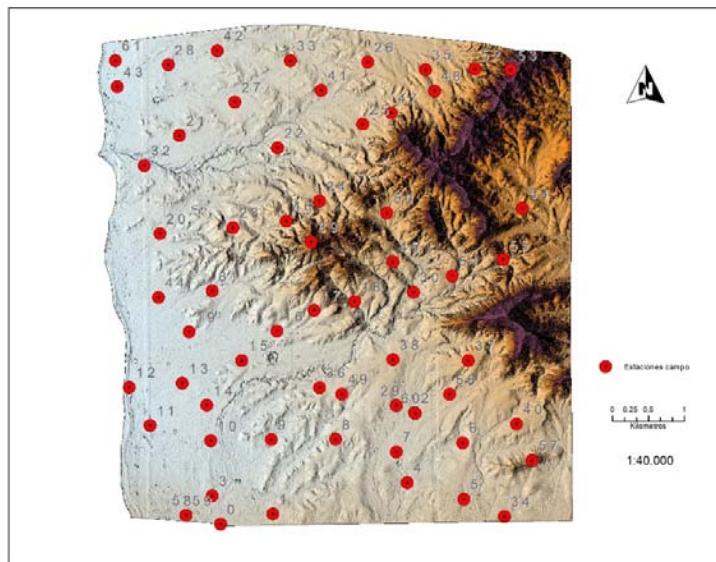


Figura 91. Puntos de estaciones en campo.

Para poder visualizar la distribución de la humedad en el suelo al momento de la salida se optó por utilizar un método de interpolación de datos más complejo que el IDW ya que se tenían mayor número de muestras representativas, para ello se escogió un método geoestadístico de estimación de puntos que permitiera generar un espacio lo más ajustado posible (kriging). Los datos puntuales se introdujeron en ArcGis y con su módulo geoestadístico se realizó una interpolación con kriging ordinario sin ninguna transformación de datos y con un modelo de semivariograma Stable. El modelo arrojó un error en RMS de 0.72 realizando un muy buen ajuste de los datos como lo muestra la gráfica de error (Figura 92) y el mapa de error en la predicción (Figura 93).

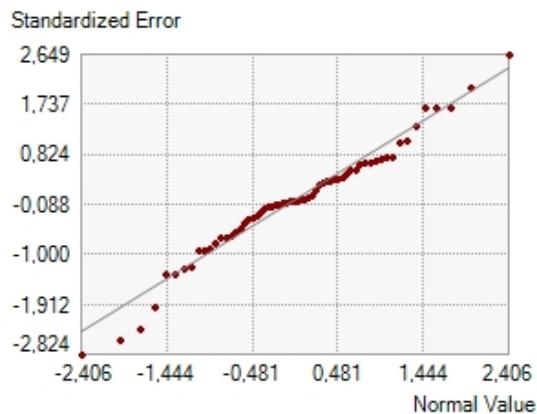


Figura 92. Distribución del error interpolación kriging de humedad.

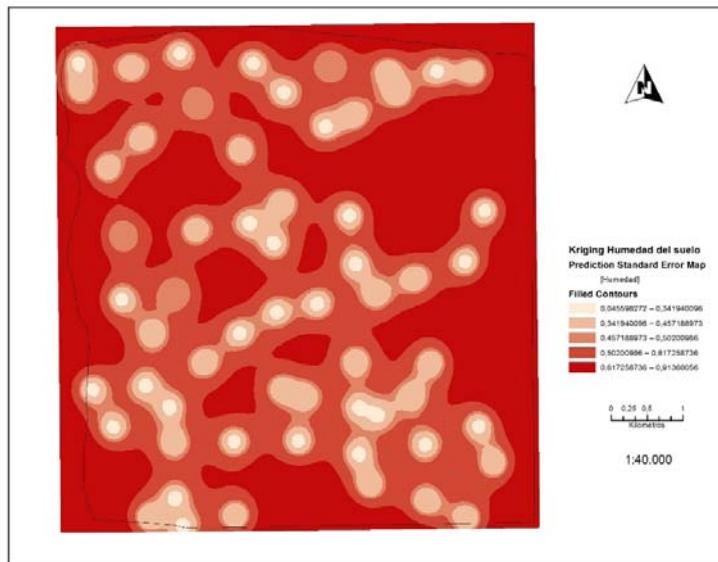


Figura 93. Distribución del error mapa de humedad.

La respuesta de la sonda varía en función de los parámetros de saturación de agua de 1 a 9.9, en los datos de campo el valor máximo registrado fue de 6. El mapa resultante de la interpolación de los datos de campo (Figura 94) reveló que la humedad en el momento de la estación lluviosa tiene una relación descendente (Partes alta a bajas) como se esperaría, teniendo mayor acumulación en las zonas bajas (áreas más saturables) algo evidente en el mapa del índice de humedad topográfica y como se comprobó en campo donde se forman salares y lagunas costeras por el periodo de lluvia. La textura de los suelos es proporcional a la capacidad de retención de agua, una característica que fue fácilmente evaluable en esta época debido a que los suelos tenían mayor humedad de lo que tendrían el resto de año. El área tiene muchos suelos arenosos lo que limita la capacidad de retención de agua aunque por otro lado se evidenció puntualmente cuando se evaluaron los nutrientes que en los lugares donde existe vegetación tendían a tener mayor retención de humedad.

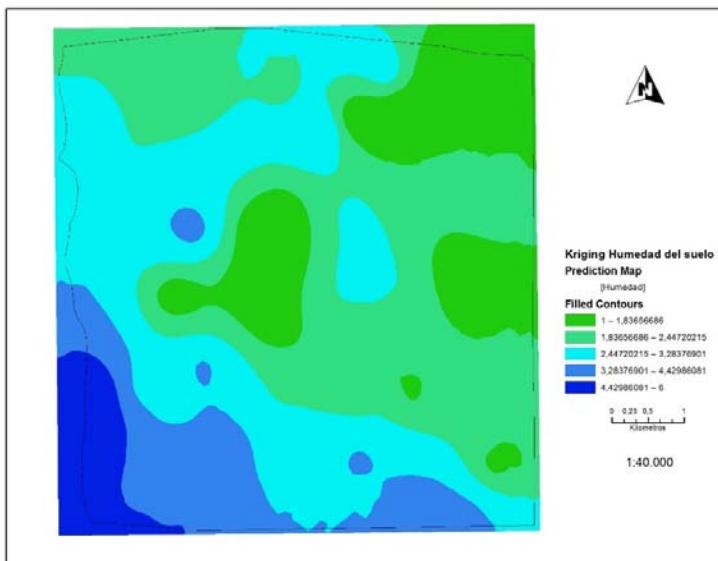


Figura 94. Mapa resultado de la interpolación kriging de humedad en el suelo.

4.3 FACTORES BIÓTICOS

Los factores bióticos son todos los organismos que tienen vida y pueden interactuar con otros organismos vivos en un lugar específico, refiriéndose principalmente a la flora y a la fauna. En el patrón Leopard del área de estudio, se identificó a la vegetación como el único factor netamente natural, la fauna local es muy poca (pájaros, reptiles e insectos) y no fue estudiada, la fauna introducida se trata más adelante como factor antrópico.

4.3.1 Comunidades vegetales

La vegetación es el principal elemento dentro del desarrollo del patrón Leopard, en la salida de campo de 2012 se logró identificar algunas de las especies presentes y en 2014 se complementó la información y la identificación más detallada de las 11 especies de herbario. Las especies identificadas fueron las siguientes:

Castela erecta (Arbusto)

Es una planta arbustiva nativa perenne perteneciente a la familia Simaroubaceae que se distribuye predominantemente en el norte de Colombia, Venezuela, las Antillas del caribe, Perú, México y sur de los Estados Unidos se encuentra entre los 0 y 150 metros de elevación, tiene como nombre vulgar goatbush, chaparro amargoso, matapuercas (Figura 95). Este arbusto, que mide hasta dos metros de altura, presenta ramas alternas con una espina terminal recta, las hojas son pequeñas y están aglomeradas en las axilas de las espinas, estas tienen peciolos de 1mm de largo. Los frutos de esta planta son de forma ovoide aplanados de color rojo brillante muy amargos, miden aproximadamente de 6 a 8 mm de diámetro y presentan solo una semilla (Turpin, Annales du Muséum National d'Histoire Naturelle 7: 80, t. 5B. 1806).



Figura 95. *Castela erecta* en la zona de estudio.

Prosopis juliflora (Arbusto)

Arbol o arbusto espinoso, caducifolio (Fabaceae), de 2 a 12 m (hasta 15 m) de altura con un diámetro a la altura del pecho hasta de 40 cm. Bajo condiciones favorables de suelo y humedad tienen hábito arbóreo y en condiciones de aridez extrema arbustivo (Figura 96). Copa amplia y plana, follaje muy ralo y extendido, hojas alternas, bipinnadas y compuestas, es nativo de México, América Central, Norte de América y del Sur. Se desarrolla en zonas de precipitación muy escasa desde 150 a 250 mm/año y en ciertos lugares con 500 a 1,000 mm/año, temperatura alta, humedad atmosférica escasa, insolación intensa. Se presenta en climas cálidos y semiáridos. Crece en gran variedad de suelos, incluso en suelos muy pobres como dunas secas y guijosas (Goor, A.Y., y C.W. Barney. 1968. DC. 1825). Nombre comunes trupillo (Colombia) Mezquite (Mexico), Sinonimia Acacia cumanensis por Alejandro de Humboldt y Bonplant durante su viaje por América.



Figura 96. *Prosopis juliflora* en la zona de estudio.

Parkinsonia praecox (Arbusto)

Arbol o arbusto espinoso de 3 a 9 m de altura caducifolio (Figura 97). Pertenece a la familia de las Leguminosas (Fabaceae) se distribuye en América desde la Patagonia hasta el sur de Estados Unidos. Se lo encuentra en zonas áridas o semi áridas (con regímenes pluviométricos por debajo de los 300 mm anuales). Su corteza es lisa de color verde claro con un tronco corto y tortuoso. Sus ramas son verdes, gruesas, largas, arqueadas, con lenticelas y con espinas cónicas en los nudos, hojas compuestas bipinnadas, fasciculadas, de color verde grisáceo con foliolulos opuestos y elípticos (Ruiz & Pav., Fl. Peruv. 4: t. 376 1802). Tolera suelos pobres y desertificados. Secreta una resina similar a la goma arábiga) Nombre común Goma Brea (argentina), Palo verde (Méjico).



Figura 97. *Parkinsonia praecox* en la zona de estudio.

Melocactus curvispinus (Cactaceas)

Es una pequeño cactus que crece individualmente y tiene tallo esférico deprimido a corto cilíndrico, de color verde oscuro, ligeramente glauco que alcanza un diámetro de 8 a 27 centímetros crecen hasta una altura de 6 a 30 cm (Figura 98). Tiene 10 a 16 costillas puntiagudas y algunas veces ligeramente verrugosas. Las areolas están hundidas ligeramente, de ellas surgen espinas de color sucio blanco a casi negro algunas son curvas. Las flores abren por la tarde y son de color oscuro y púrpura o rosa, de 18 a 43 milímetros de largo y tienen un diámetro de 10 a 25 milímetros. Los frutos son de color rosa a rojo magenta brillante (Pfeiffer Enumeratio Diagnostica Cactearum 46. 1837). Se distribuye por centro América, Colombia, Venezuela, Brasil y las Antillas del Caribe. Se le conoce comúnmente como de melón de monte, buche, pichigüey.



Figura 98. *Melocactus curvispinus* en la zona de estudio.

Opuntia caracasana (Cactácea)

Es una de planta de la familia de las cactáceas (Figura 99). Como la mayoría de los miembros de este género carece de hojas nomofilas, los segmentos o cladodios en que se divide son tallos capaces de ramificarse, emitiendo flores y frutos. Estos tallos son planos, ovales y de color verde medio. Poseen dos clases de espinas, unas largas y duras, y otras cortas y finas con aspecto veloso. Las flores, en forma de corona, nacen de las areolas en los bordes de los segmentos. Florece una vez al año y tanto el fruto como la flor pueden ser de diversos colores, desde el amarillo al rojo. El fruto tiene una cáscara gruesa, espinosa, y con una pulpa abundante en pepas o semillas. El fruto maduro es una baya de forma ovalada con diámetros de entre 5,5 y 7 cm, una longitud de 5 cm a 11 cm (Salm-Dyck, Cact. Hort. Dyck. 238. 1850). Nativa de América y se encuentra desde Canadá hasta la Patagonia, su nombre común en Colombia es Tuna.

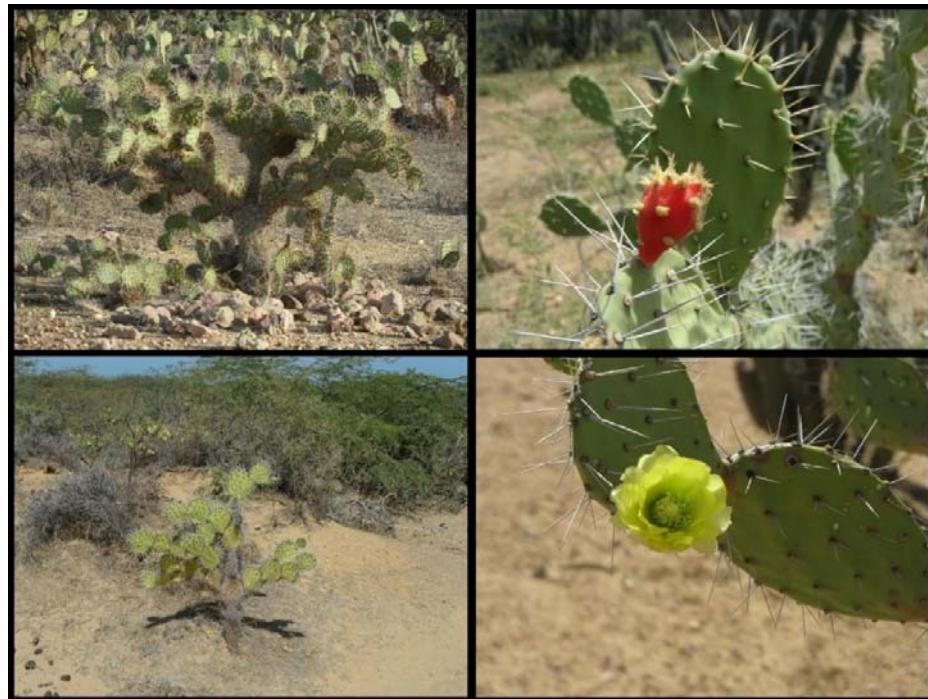


Figura 99. *Opuntia caracasana* en la zona de estudio.

Stenocereus griseus (Cactácea)

Es una de planta de la familia de las cactáceas (Figura 100). Cuya altura oscila entre 6-8 m. base leñosa de color, las columnas son de color verde intenso, formadas por costillas con areolas de las cuales se desprenden de 6-8 espinas agudas. Las flores son sésiles, solitarias y carnosas, con pétalos interiores blancos. El fruto es una valla, loboso, espinoso y roja cuando se madura. Tiene un crecimiento de tallos ramificados como un árbol, alcanzando alturas de 6-9 metros. Los tallos verticales son de color verde ligeramente glauco con un diámetro de 9-12 cm. Tiene seis a diez costillas por debajo las areolas con una a tres espinas centrales de 1.5 centímetros de largo. Las flores miden hasta 10 cm de largo, son esféricas a oblongas, de color verde amarillento a púrpura rojo oscuro y las frutas alcanzan un diámetro de hasta 5 cm (Haw. Buxb., Bot. Stud. 12: 100. 1961). Se establecen con espinas que se encuentran en la madurez. La carne es de color rojo. En la península de la Guajira, su fruto es conocido como Iguaraya por los pueblos Wayúu. Nombre local Cardón iguaraya, Cardón guajiro, Yosu. Se distribuye en México, Trinidad, Aruba,

Curazao, Bonaire, Venezuela, Colombia. Crece en bosques secos y muy secos por debajo de 500 m de altitud



Figura 100. *Stenocereus griseus* en la zona de estudio.

Pilosocereus lanuginosus (Cactácea)

Es una de planta de la familia de las cactáceas (Figura 101). Ramas columnares alargadas, compuesto de ramas delgadas y de forma tubular de hasta varios metros de altura con costillas y areolas espinosas. Areolas de la parte superior del tallo con lana abundante formando estructuras parecidas a almohadillas pero no un verdadero céfalo. Flores acampanadas o infundibuliformes, nocturnas 3-3.5 cm de largo. El tubo floral con escamas, sin espinas. Frutos globosos, carnosos con abundantes semillas negras. Las espinas: 20-25 lanosas, flexible, de color amarillo, más tarde grises (Byles & G.D. Rowley, Cact. Succ. J. Gr. Brit. 19: 67. 1957). Es una especie de amplia distribución se encuentra en Trinidad, Aruba, Bonaire, Curazao, Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú. Crece en bosques secos y matorrales espinosos.



Figura 101. *Pilosocereus lanuginosus* en la zona de estudio.

Portulaca halimoides (Herbazal)

La especie Portulaca (Figura 102) pertenece a la familia de las Portulacaceae. Es originaria de los desiertos del suroeste de los Estados Unidos y el norte de México, así como, partes de América Central y del Sur. Es una hierba anual que produce un tallo carnoso su ramificación se extiende a una longitud máxima de alrededor de 25 centímetros. A menudo es de color rosa o de color rojo y tiene mechones de pelos lanosos tricomas en los nodos a lo largo del tallo y dentro de la inflorescencia, tiene hojas de punta roma de hasta 2 centímetros de largo de color verde a rojo. Las flores se producen en racimos de hasta 10 en las puntas de las ramas del tallo, son de unos pocos milímetros de ancho con pétalos de color amarillo, rodeadas por largos y abundantes pelos, sépalos triangular-ovados y ovados, de 2 a 4 mm de largo, pétalos rosados o rojo-morados, obovados de 3 a 6 mm de largo, a veces retusos en el ápice, estambres 10 a 30 estilos 4 a 6-lobados. El fruto es una cápsula subglobosa, de 2.5 a 4.5 mm de largo por 2 a 4 mm de diámetro, a veces sobre un corto pedicelo, circuncísil (abriendo en medio) en la parte media o más abajo; semillas negras, de alrededor de 0.5 mm de ancho, menudamente tuberculadas (Linnaeus Species Plantarum, Editio Secunda 1: 639. 1762).



Figura 102. *Portulaca halimoides* en la zona de estudio.

Heterostachys ritteriana (Herbazal)

Arbusto perteneciente a la familia Chenopodiaceae con ramas decumbentes y ramitos erectos, alternos o sub opuesto (Figura 103). Hojas alternas pequeñas, escuamiformes, tempranamente caducas. Inflorescencias en espigas estrobiliformes, solitarias, elíptico-cilíndricas, de 5-15 mm de largo y 24 mm de diámetro (Ung.-Sternb. Atti Congr. Bot. Firenze 1874 (1876) 332). Flores solitarias en las axilas de brácteas carnosas que las cubren completamente. Cáliz membranáceo con ápice 4-hendido, muy comprimido radialmente y contorno circular, ovado visto de frente, con sépalos laterales más largos que los otros, con dorso marginado y aserrado, el interno y externo obtusos y cóncavos, Semilla elíptica con tegumento verrugoso y radícula ascendente. Se distribuye por América Central y del Sur, vive en

suelos salados y es común encontrarla formando parte de las comunidades vegetales en los sustratos arcillosos del supra litoral en zonas de marismas.



Figura 103. *Heterostachys ritteriana* en la zona de estudio.

Sesuvium portulacastrum (Herbazal)

Es una especie de planta suculenta perteneciente a la familia de las aizoáceas (Figura 104). Es una hierba perennifolia que se expande en las zonas costeras a lo largo de gran parte del mundo. Crece como una hierba perenne que alcanza hasta 30 centímetros de altura, con tallos gruesos y suaves de hasta 1 metro de largo. Tiene las hojas carnosas y suaves, de color verde brillante y son lineales o lanceoladas, de 10 a 70 milímetros de largo y 2.15 milímetros de ancho. Las flores son de color rosa o púrpura; pedúnculos 3-23 mm. Tépalos 5, soldados en tubo corto, de 4-8x3-5 mm, petaloideos, ovado-lanceolados, agudos, carnosos, rosados o purpúreos interiormente, verdes exteriormente. Estambres numerosos, libres. Ovario con 3-5 lóculos; estilos 3-5. Pixidio c.6.5x3 mm, oblongo-elipsoidal u oboideo, el cual se abre aproximadamente por su zona media. Semillas de c.1.2x0.8 mm, negras y lisas. Crece sobre suelos de arena arcillosa, en la costa de piedra caliza y arenisca, en marismas y salinas, a lo largo de gran parte del mundo. Se distribuye por África, Asia, Australia, América del Norte y América del Sur (Linnaeus, *Systema Naturae*, Editio Decima 2: 1052, 1058, 1371. (1759).



Figura 104. *Sesuvium portulacastrum* en la zona de estudio.

Jatropha gossypiifolia (Herbazal)

Arbusto de la familia Euphorbiaceae cuya altura oscila entre 1-2 m, el tallo es aproximadamente de 5 cm de espesor, color verde y emana látex de color amarillento, hojas alternas de 5-15 cm de longitud, palmatilobadas, 3-5 lobadas, hasta la mitad o más, de color verde o morado; acorazonadas en la base, lóbulos agudos, denticulados, ciliados-glandulosos; flores pequeñas unisexuales, imperfectas, actinomorfas, con cáliz y corola pentámeros, de color verdosas, púrpureos (Figura 105). Su fruto consiste de una cápsula drupácea verdusca trilocular, de 1 cm de diámetro y consta de 3 lóbulos, con 3 carpelos dehiscentes. Las semillas son oblongadas, pardo-grisáceas, moteadas de 7-8 mm. Habita en suelos franco-arenosos y arcillosos con abundante materia orgánica, terrenos calcáreos y fértiles. En áreas que se inundan sólo en creciente alta, cerca y lejos de los cuerpos de agua, en campo abierto, es susceptible a la inundación. Es originaria de América tropical continental. Se observa en todas Las Antillas Mayores y en muchas de las Menores, y en las Bahamas (Linnaeus Species Plantarum 2: 1006. 1753).



Figura 105. *Jatropha gossypiifolia* en la zona de estudio.

4.4 FACTORES ANTRÓPICOS

En el proceso natural y no natural de la desertificación el factor humano es un componente más. Al jugar un papel más entre los distintos elementos del paisaje -clima, suelo, vegetación y hombre, el factor humano tiene especial relevancia al ser un condicionante para los demás elementos, la influencia humana a lo largo del tiempo ha alterado el uso del suelo y ha modificado en ciertos aspectos las condiciones del medio natural ligado a una actividad socioeconómica o modo de vida de sus habitantes, en el área del Cabo de la Vela se determinaron los siguientes aspectos claves en el proceso de intervención humana.

4.4.1 Ganadería

En el desarrollo del modo de vida indígena la cría de cabras y ovejas es la actividad económica más importante de los Wayúu, los animales juegan un papel muy valioso ya que son los bienes máspreciados y un elemento cultural muy arraigado que ha pasado de manera generacional y marca el día a día de la familia, que organiza su vida en torno a la crianza de los animales y en donde participa toda la familia. Al ser la Alta Guajira una zona con suelos muy pobres con escasa precipitación la agricultura no puede ser desarrollada de manera generalizada, recurriendo a la cría de animales de pastoreo (ovejas y cabras). La cabra y la oveja son unos de los animales domesticados por los humanos que tiene una amplia distribución mundial, casualmente muchas de las zonas áridas del mundo tienen presencia de estos animales debido a su extraordinaria capacidad de adaptación a diferentes condiciones de clima, vegetación y a su rentable producción de leche, carne y pieles. Para estimar cuantos animales existían en el área de estudio se recurrió a las estadísticas oficiales sobre los censos pecuarios de ovinos y caprinos de los años 1965, 2007, 2013 y 2016. Dichas estadísticas solo mostraban los datos genéricos por departamentos para lo cual se calculó la densidad de animales por kilómetro cuadrado y luego se extrapoló a los 43km² del área de estudio (Tabla 26), hay que tener en cuenta que los censos revelan que el departamento de la Guajira es el que mayor aporte tiene en cuanto a número de estos animales en Colombia y en su mayoría se encuentran en la Alta Guajira.

Tabla 26. Animales presentes en al área de estudio a través de los años

año 1965			año 2007		
Especie	caprino	ovinos	Especie	caprino	ovinos
# de animales	30.170	52.640	# de animales	246.025	401.162
Densidad km2	1,44714121	2,52494244	Densidad km2	11,8008922	19,2422295
Área estudio	62,2270721	108,572525	Área estudio	507,438363	827,415867
Total	170,799597		Total	1334,85423	
año 2013			año 2016		
Especie	caprino	ovinos	Especie	caprino	ovinos
# de animales	881.786	603.382	# de animales	903.063	619.940
Densidad km2	42,2959517	28,9419609	Densidad km2	43,3165292	29,7361857
Área estudio	1818,72592	1244,50432	Área estudio	1862,61075	1278,65599
Total	3063,23024		Total	3141,26674	

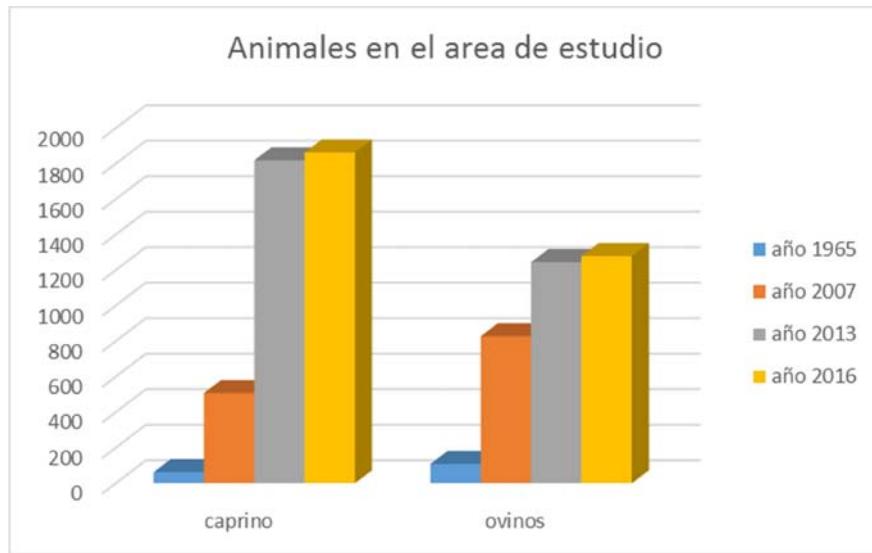


Figura 106. Evolución del número de animales en la zona de estudio.

La gráfica (Figura 106) muestra claramente como con el pasar del tiempo el ganado en el área se incrementó desde el año 1965 al 2007, aumentando casi 7 veces la cantidad de animales. De 2007 a 2013 se duplicó la cantidad de animales pasando de 1334 a 3063 para posteriormente seguir con un incremento constante hacia el año 2016, lo que refleja el grado de incremento anual en la presión del ganado sobre la vegetación del área, se observa también una clara tendencia a que los caprinos superen al ganado ovino, probablemente debido a que las cabras son más resistentes a las sequías y son capaces de soportar mejor estos cambios.

4.4.2 Dispersión

Los factores que determinan la dispersión dependen de los animales (edad y raza) y el ambiente en que se encuentran (topografía, vegetación y cantidad de forraje disponible). La topografía más ondulada lleva a un número mayor de agrupamientos de los animales y las más planas a su dispersión. Los animales forman un solo grupo cuando beben o descansan y gradualmente se separan en subgrupos individualizados cuando se alejan fuera del sitio de agua y se dirigen a lugares de pastoreo producto de los lazos familiares (Arnold et al., 1978 ; Escós et al., 1993). En condiciones de sequía la distancia entre subgrupos o entre animales vecinos del grupo son mayores extendiéndose los grupos hacia afuera y realizando un mayor número de subgrupos, por lo tanto, en condiciones de sequía el animal se aparta y la distancia es más cercana cuando las condiciones mejoran y las pasturas abundan (Arnold et al., 1978). La distribución de los animales depende del tipo de vegetación su altura y distribución, cuanto más deteriorada esta la pastura más subgrupos son formados para realizar el pastoreo. La variación en el tamaño de grupo de vacunos depende más de la disponibilidad de pastura existente que de la calidad (Arnold et al., 1978). Kolb, E. (1975), señala que en condiciones naturales, las ovejas y cabras salvajes, la distancia recorrida diariamente depende de la calidad del forraje y de las circunstancias climáticas, pudiendo llegar a recorrer entre 3 y 8 km. En la salida de campo se identificaron lugares donde se encontraron pruebas del paso de los animales por distintos lugares (presencia, excrementos y huellas) con esta información se generó una capa de puntos de presencia (Figura 107). Se incluyó un buffer de 3 y 4 km alrededor de los puntos de presencia revelando que los animales se pueden mover libremente por toda el área abarcando desde las zonas de playa hasta las montañas (Figura 108).

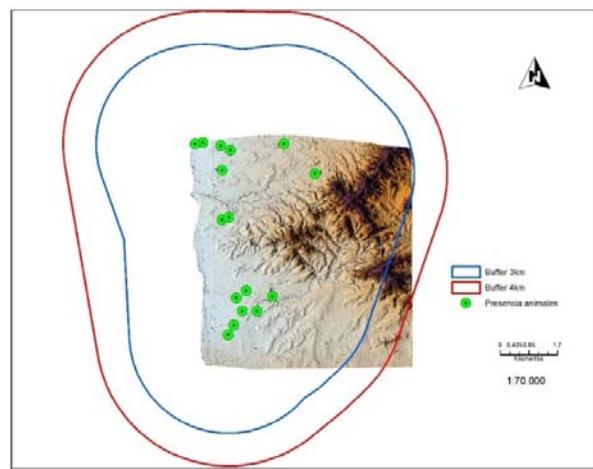


Figura 107. Área de influencia dispersión de los animales en la zona de estudio.



Figura 108. Presencia de cabras y ovejas en distintas partes del paisaje.

4.4.3 Construcciones, caminos y cuerpos de agua

Con las imágenes de satélite de los distintos años se logró digitalizar la información correspondiente a caminos, infraestructura y las acumulaciones de agua (Jaguey) presentes en cada una de las imágenes, se delinearon los vectores y se crearon polígonos con la visión computacional dentro del programa ArcGis (Figura 109).

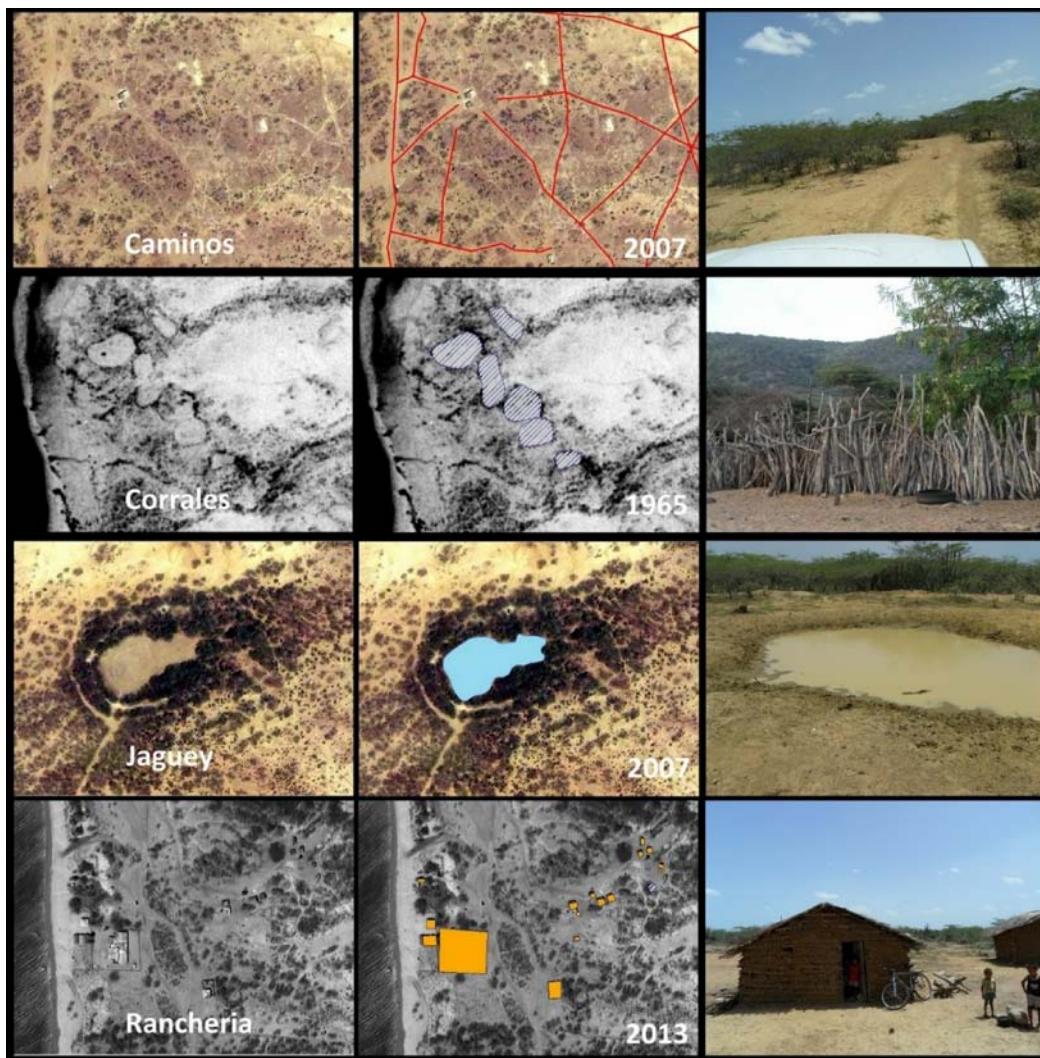


Figura 109. Ejemplo información digitalizada del uso del suelo en las distintas imágenes y años.

Para el año 1965 la métrica de caminos arrojó 69.01 kilómetros con 44.06 Ha en la clase corral y 1.37 Ha pertenecientes a las rancherías, en cuanto a los cuerpos de agua 2.25 Ha (Figura 110)

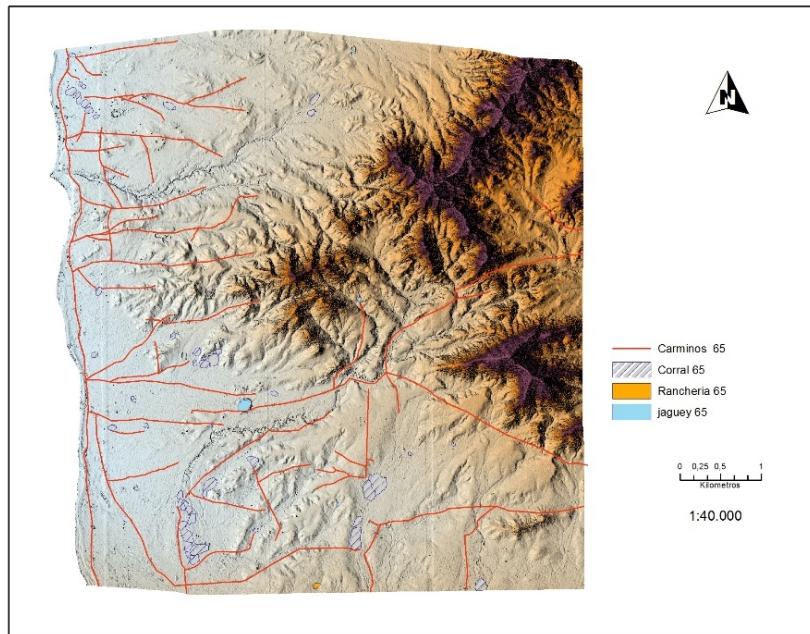


Figura 110. Mapa de uso del suelo 1965.

Para el año 2007 la métrica de caminos arrojó 229.68 kilómetros con 34.81 Ha en la clase corral y 3.87 Ha pertenecientes a las rancherías, en cuanto a los cuerpos de agua 8.49 Ha (Figura 111)

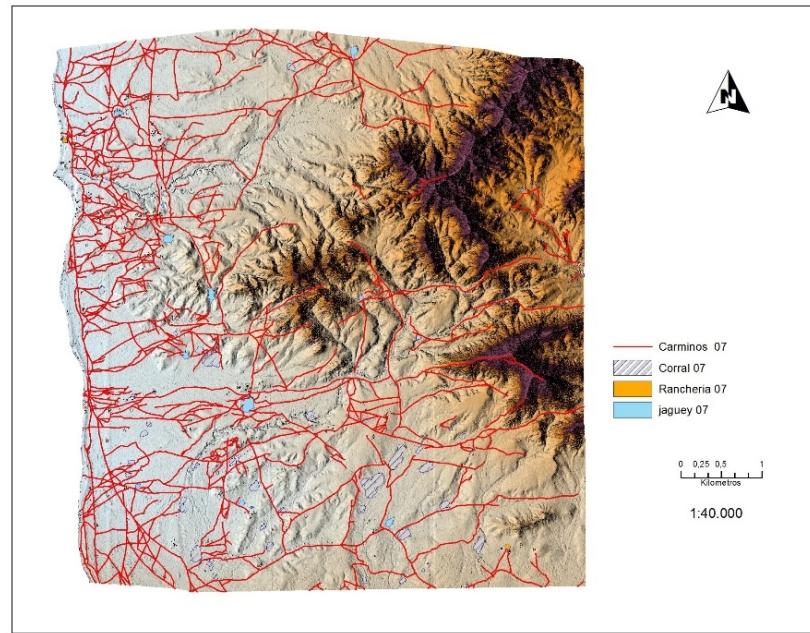


Figura 111. Mapa de uso del suelo 2007.

Para el año 2013 la métrica de caminos arrojó 324.50 kilómetros con 31.57 Ha en la clase corral y 7.13 Ha pertenecientes a las rancherías, en cuanto a los cuerpos de agua 13 Ha (Figura 112)

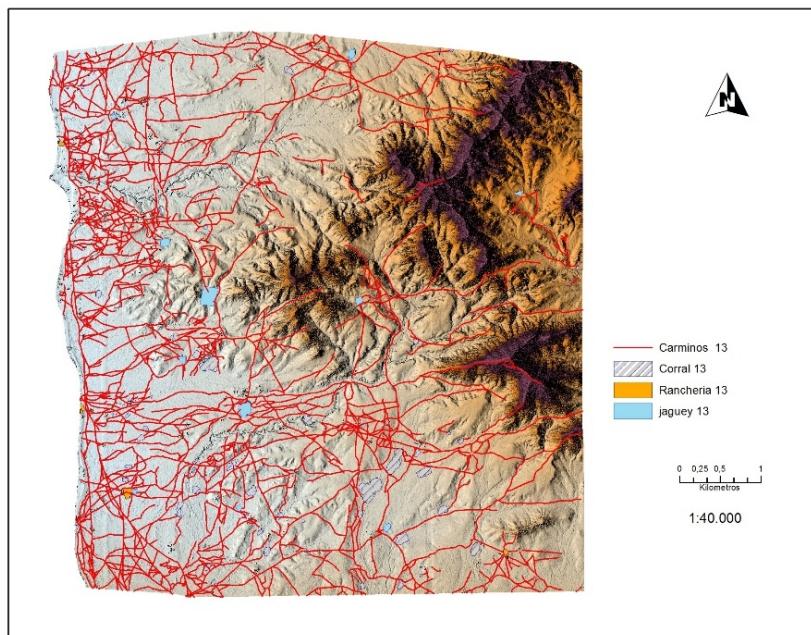


Figura 112. Mapa de uso del suelo 2013.

La evolución de los principales aspectos del uso del suelo (Figura 113, 114 y 115) muestra un claro aumento en los rasgos antrópicos que afectan directamente sobre el paisaje, los caminos pasaron de 69.01 km en 1965 a 324.5 km en 2013, las rancherías de 1.37 Ha en 1965 a 7.13 Ha de área construida en 2013, así como, su número aumentó de 130 a 695 para el periodo 1965 – 2013, los Jagüeys pasaron de 2.5 Ha en 1965 a 13 Ha en 2013. Todos los aspectos evolucionaron a través del tiempo aumentando su tamaño, distancia y número. Por otro lado, el único aspecto que muestra una tendencia a decrecer en extensión fue el área que ocupaba los corrales pasando de 44 Ha en el año 1965 a 31.57 Ha en el año 2013 pero su número sigue en aumento de los 46 corrales con un área promedio de 9579 m² en 1965 se pasó a 180 en 2013 con un área promedio de 1816 m². Esto coincide con la reducción en el número de ovinos que se vienen dando desde el año 1965 a la actualidad, los cuales son encerrados en los corrales a diferencia de los caprinos que permanecen la mayor parte del tiempo en libertad.

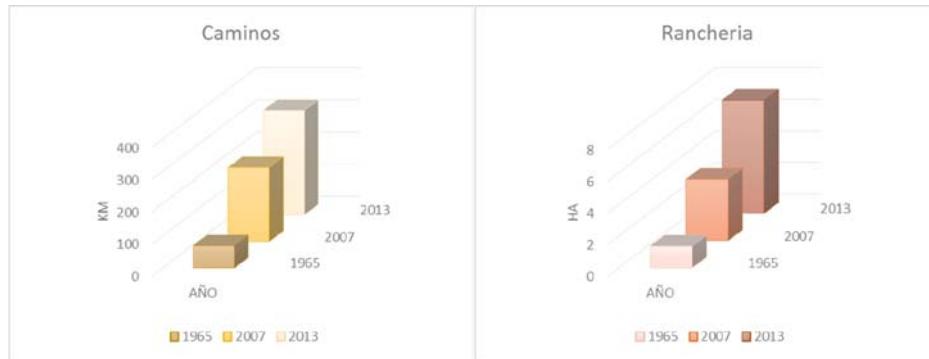


Figura 113. Grafico evolución área que ocupa los caminos y rancherías 1965,2007, 2013.

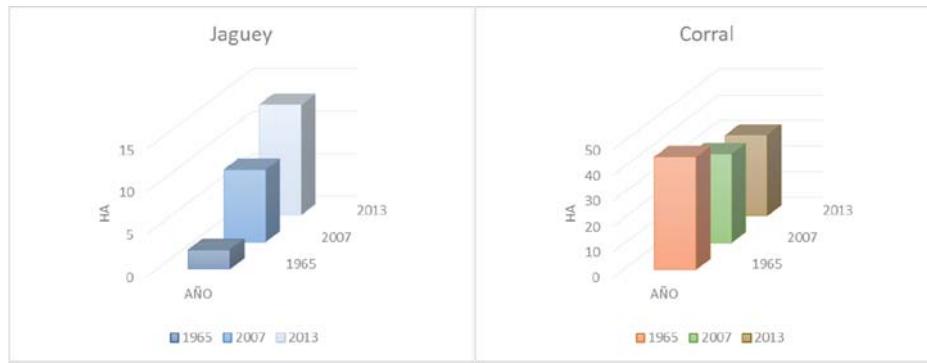


Figura 114. Grafico evolución área que ocupa el jaguey y los corrales 1965,2007, 2013.

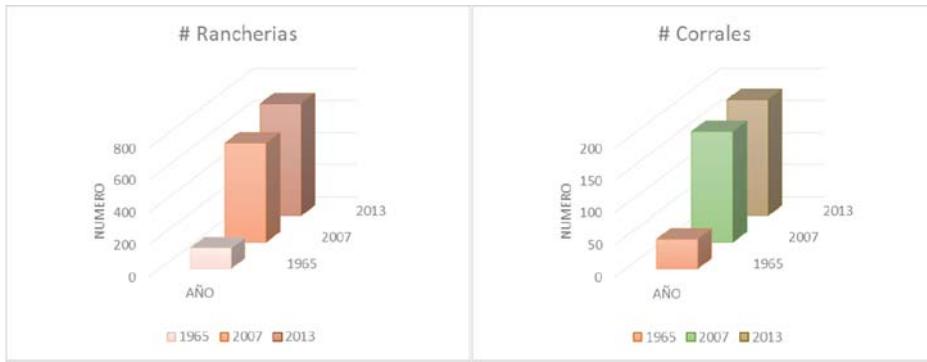


Figura 115. Grafico evolución del número de rancherías y corrales 1965,2007, 2013.

4.4.4 Modelo de asentamiento y evolución de la población

La localización de los asentamientos humanos en el área de estudio corresponde con el modo de vida de la cultura indígena Wayúu, al ser semi nómadas las rancherías y los corrales son construcciones temporales echas de materiales locales (Madera de Cactus o del árbol de trupillo *Prosopis juliflora*) que van siendo cambiadas a medida de los años según sus creencias religiosas y los procesos familiares (Matrimonios, muertes, ritos). Las construcciones son de forma dispersa asentándose principalmente cerca de las fuentes de abastecimiento de agua (Jaguey y pozos) y a lo largo de la zona plana cerca a la costa (para tener acceso a la pesca), la población también se ubica en partes algo más elevadas de la zona plana alejados de las áreas de influencia de los ríos que en época de lluvia generan riadas. Con las imágenes de satélite se pudo constatar que los asentamientos están dispersos en el espacio, a medida que pasa el tiempo han aumentado y en algunos casos han desaparecido o modificado sustancialmente como el caso de los corrales en el año 1965 (Figura 116).

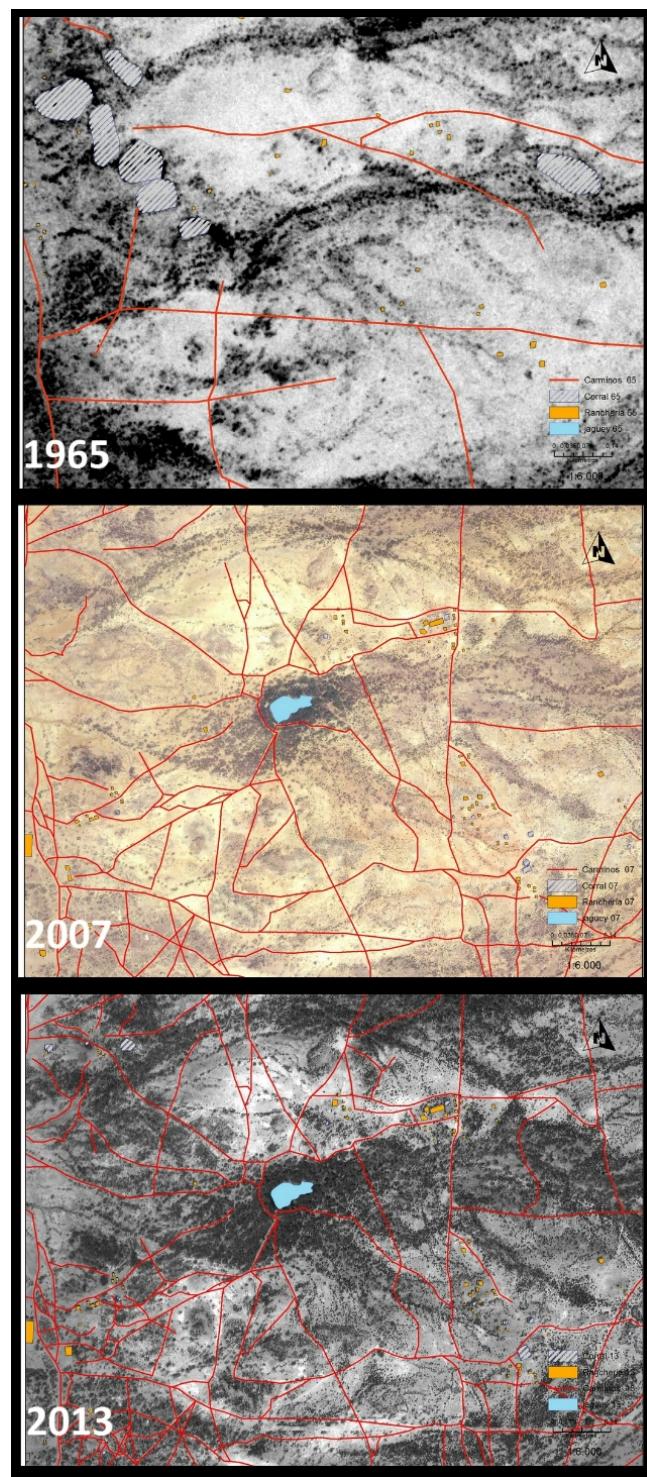


Figura 116. Ejemplo de cómo ha evolucionado una parte del área de estudio de 1965, 2007, 2013.

La cantidad de personas en el área fue calculada a partir de los datos censales de los años 1964, 1993 y el último censo vigente en 2005. También se usaron las proyecciones de población de los años 2007 y 2013 utilizando los cálculos de densidad de población a nivel municipal para luego ser extrapolados al área de estudio (Tabla 27).

Tabla 27. Población del área de estudio a través de los distintos censos y proyecciones.

La Guajira	Censo 1964	Censo 1993	Censo del 2005	Proyección 2007	Proyección 2013
Densidad	2,11	8,9	14,83	16,7	19,8
Población Área	90	383	637	718	855

La población en el área evolucionó de manera acorde al crecimiento poblacional de la región y del país teniendo un incremento alrededor de 9 veces en 2013 comparado con la población inicial en el año 1964 (Figura 117). La evolución de las construcciones, áreas de corrales y cuerpos de agua muestra la tendencia al aumento progresivo de la colonización en el área, contrastado con el aumento de la población humana y animal.

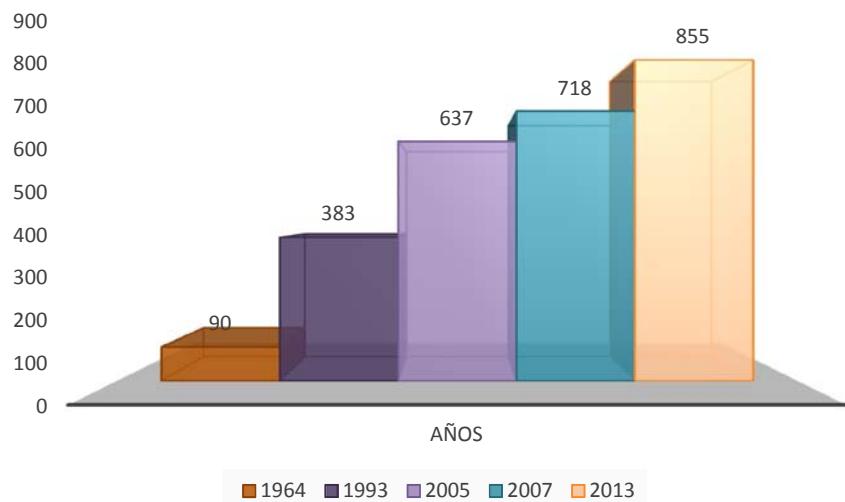


Figura 117. Evolución de la población en el área de estudio.

4.5 DETERMINACIÓN DE DISTANCIAS ENTRE PARCHES, FRAGMENTACION Y COMPOSICION

Las distancias de la vegetación en el patrón Leopard son un factor muy importante que caracteriza cómo se comporta este en área de la Guajira. En la salida de campo se tomaron algunas mediciones para tener como referencia a la hora de definir las distancias entre los parches de vegetación (Figura 118).

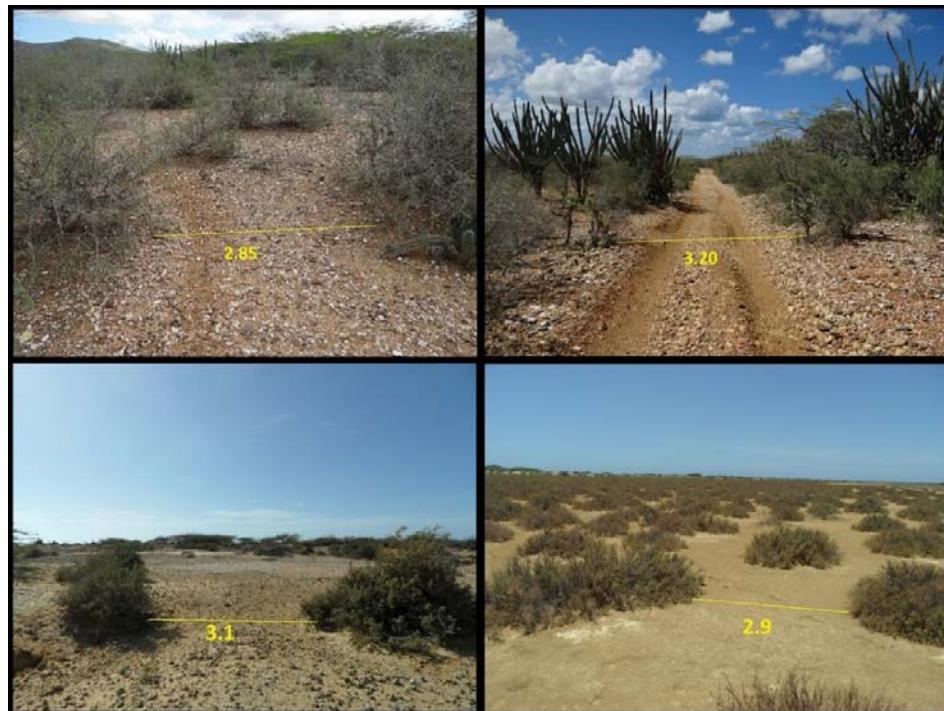


Figura 118. Ejemplo de las medidas de la distancia entre parches Leopard sobre el terreno.

Para poder estudiar cómo ha sido su comportamiento a través de los años (1965, 2007, 2013). Se optó por utilizar el software FRAGSTATS dentro del programa ArcGis. Para realizar los análisis de cómo se había fragmentado la cobertura vegetal en los distintos años se utilizaron las métricas desglosadas en la tabla 28.

Tabla 28. Índices utilizados.

Característica	Índice	Identificador
Composición	Área total de la cobertura	(CA)
	Número de Parches	(NP)
	Área promedio del parche	(AREA_MN)
Configuración	Distancia Euclíadiana al vecino más cercano	(ENN_MN)

Una vez procesada la información de la cobertura para los tres años en estudio, se procedió a determinar los índices. Primero se calculó el área total de la cobertura CA extensión total de cada clase en estudio m² dividido por 10.000 para expresarlo en hectáreas (Tablas 29 y Figura 119).

Tabla 29. Área total de la cobertura (CA) para los distintos años.

Cobertura	2013		2007		1965	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Arbustal	800	18,6	692	16,07	924	21,49
Suelo desnudo	3495	81,29	3595	83,62	3366	78,29
Vegetación baja	4	0,1	12	0,28	9	0.22
Total	4299	99,99	4299	99,99	4299	99,99

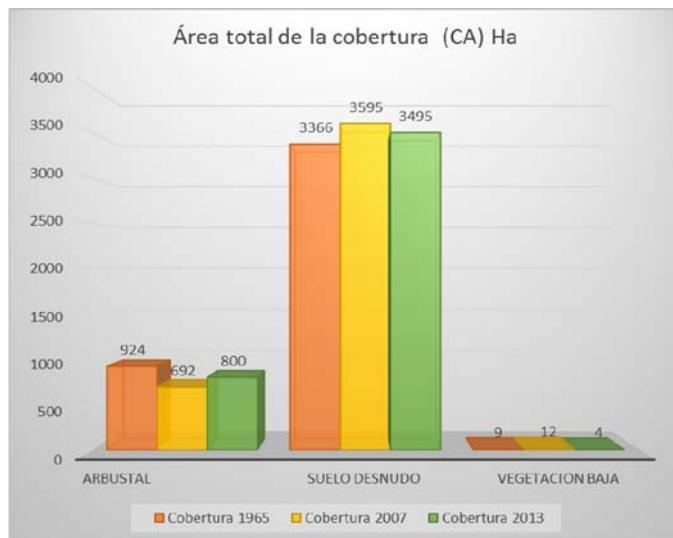


Figura 119. Área total de la cobertura (CA) para los distintos años.

Seguido se calculó el Número de Parches (NP) de cada clase, este arroja una indicación del grado de fragmentación, especialmente si en su estado inicial la región era relativamente homogénea en cuanto al tipo de hábitat o uso de la tierra. Cuanto mayor es la cantidad de fragmentos, más influencia tendrá sobre la fragmentación del paisaje (Tabla 30 y Figura 120).

Tabla 30. Número de Parches (NP) para los distintos años.

Cobertura	2013	2007	1965
	#	#	#
Arbustal	136.328	168.240	25.803
Suelo desnudo	2.168	2.610	4.314
Vegetación baja	1.249	1.347	446
Total	139.745	172.197	30.563

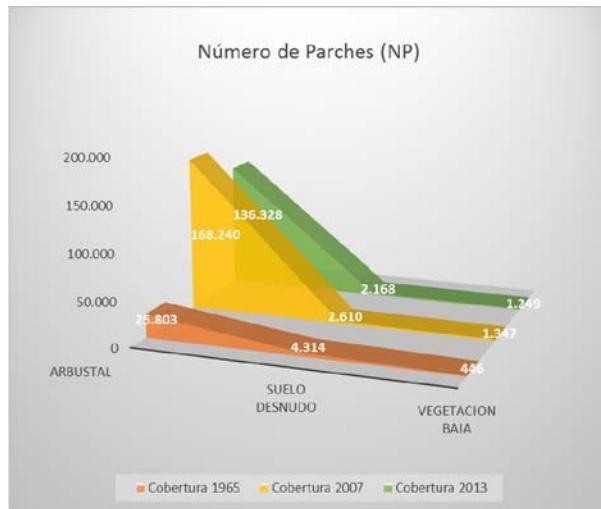


Figura 120. Número de Parches (NP) para los distintos años.

El siguiente índice calculado fue área promedio del parche AREA_MN (Tabla 31 y Figura 121). Este muestra el tamaño promedio del parche para una clase revelando su superficie media. Junto con el NP, aporta información acerca de la fragmentación del uso en cuestión, de tal forma que un incremento del NP junto a una disminución del AREA_MN revelará un incremento de la fragmentación.

Tabla 31. Área promedio del parche (AREA_MN) para los distintos años.

Cobertura	2013	2007	1965
	m ²	m ²	m ²
Arbustal	73	41	358
Suelo desnudo	15.200	13.704	7.811
Vegetación baja	37	91	203



Figura 121. Área promedio del parche (AREA_MN) para los distintos años.

Finalmente se calculó el índice promedio de distancia euclíadiana ENN_MN (Tabla 32). Este es una medida igual a la suma de la distancia (m) de un parche al parche vecino más cercano del mismo tipo, basado en la distancia de borde a borde, dividido por el número de parches del mismo tipo (McGarigal et al. 2002). Este índice indica el nivel de aislamiento que se puede presentar entre fragmentos de la misma clase (Figura 122).

Tabla 32. Promedio de distancia euclíadiana (ENN_MN) para los distintos años.

Cobertura	2013	2007	1965
	m	M	m
Arbustal	3	4	8
Suelo desnudo	4	4	7
Vegetación baja	6	6	15

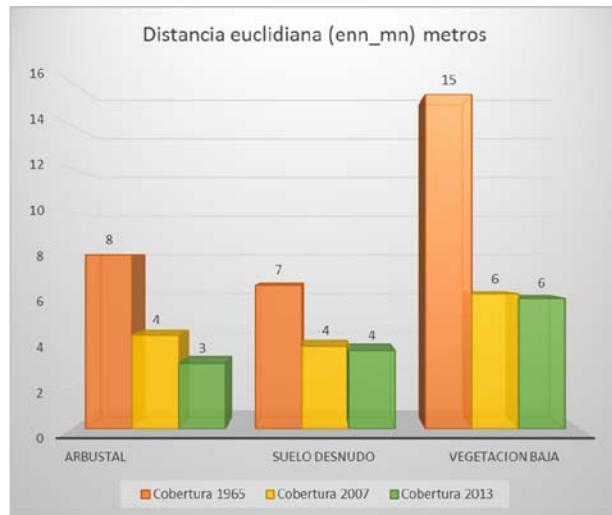


Figura 122. Promedio de distancia euclíadiana (ENN_MN) para los distintos años.

En el área de estudio la dominancia de las coberturas según el área total (CA) fue mayoritariamente la clase suelo desnudo con 3366 Ha en el año 1965 aumentando en 2007 a 3595 Ha y decreciendo un poco en 2013 con 3495 Ha, esta cobertura representó en promedio el 81% del área en los últimos 48 años. Le siguió la clase arbustal con 924 Ha en el año 1965 y 692 Ha en 2007 para finalmente llegar a 800 Ha en 2013, lo que representa un promedio de 18,72%. La vegetación baja se representa en un pequeño porcentaje con el 0,28 %. Según el número de parches (NP), el área ha venido incrementando su número con el pasar de los años, conformada inicialmente por 30563 parches de las diferentes coberturas vegetales en 1965, siendo la cobertura con mayor número de parches la clase arbustal con 25803 parches y el suelo desnudo con 4314. En los posteriores años se dió un gran incremento en el número de fragmentos; para el año 2007, los fragmentos de la clase arbustal fueron 168240 posteriormente se redujeron un poco para el año 2013 llegando a 136328 fragmentos, contrario a la dominancia vista en el índice (CA) por la clase suelo desnudo, esta presentó 4314 fragmentos en 1965 reduciéndose a 2610 fragmentos en 2007 y llegando a 2168 fragmentos en 2013. Evidenciando que el suelo desnudo tiende a compactarse en fragmentos más y más grandes y la clase arbustos

en fragmentos más pequeños, como se aprecia con el índice de área promedio del parche (AREA_MN) donde en 1965 el suelo desnudo tenía parches promedio en tamaño de 7811m² pasando a 13704 m² y finalmente 15200 m². Mientras que en la clase arbusto a partir del año 1965 está tuvo un área promedio de 358 m² pasando por 41 m² en 2007 y finalmente concluyendo en 2013 con 73 m² lo que evidencia un aumento en la fragmentación del área al analizar el índice NP y el AREA_MN en conjunto. Finalmente el valor promedio de la distancia que existe entre un fragmento y otro se pudo caracterizar utilizando el índice ENN_MN. Para la clase arbustal el año 1965 inició con una distancia de 8 metros entre los fragmentos para luego pasar de 4 metros en el año 2007 y finalmente 3 metros en 2013, métrica que coincide con los datos de algunas mediciones en terreno de 2014, la clase suelos desnudos evolucionó de 7 metros en promedio a 4 metros en 2007 y se mantuvo en esa cifra hasta el 2013 al igual que la vegetación baja que en el año 1965 tenía 15 metros de distancia y se redujo a 6 metros en los siguientes años.

4.5.1 Asociación y composición de la vegetación

Con la vegetación (actual) que se encontró en el momento de la salida de campo se realizaron perfiles para mostrar las asociaciones del mosaico vegetal y el modelo de sucesión en relación a un corte topográfico. Estos diagramas permiten representar muy bien la organización espacial de las comunidades en cuanto a cómo se organizan a lo largo de un transepto de elevación y de textura del suelo.

Asociación *Heterostachys ritteriana - Sesuvium portulacastrum*

Esta asociación se encuentra en la zona de playa o pre playa sobre los suelos arenosos hasta una altura de 6 msnm (Figura 123). Composición florística: Las especies características incluyen a *Jatropha gossypiifolia*, *Portulaca halimoides*. Entre las especies dominantes aparecen *Heterostachys ritteriana* y *Sesuvium portulacastrum*. Fisionomía: herbazal (Figura 124) con elementos que alcanzan hasta 2 m de altura y con un estrato arbustivo con cobertura del 100% dominado por *Heterostachys ritteriana* con 80% de cobertura relativa, *Sesuvium portulacastrum* 10%, *Jatropha gossypiifolia* 5% y *Portulaca halimoides* 5%. Distribución: se ubica en las unidades de paisaje; HA,Qc,PI,RZAA,VB - HA,QII,Lla,RZCaskz,SD

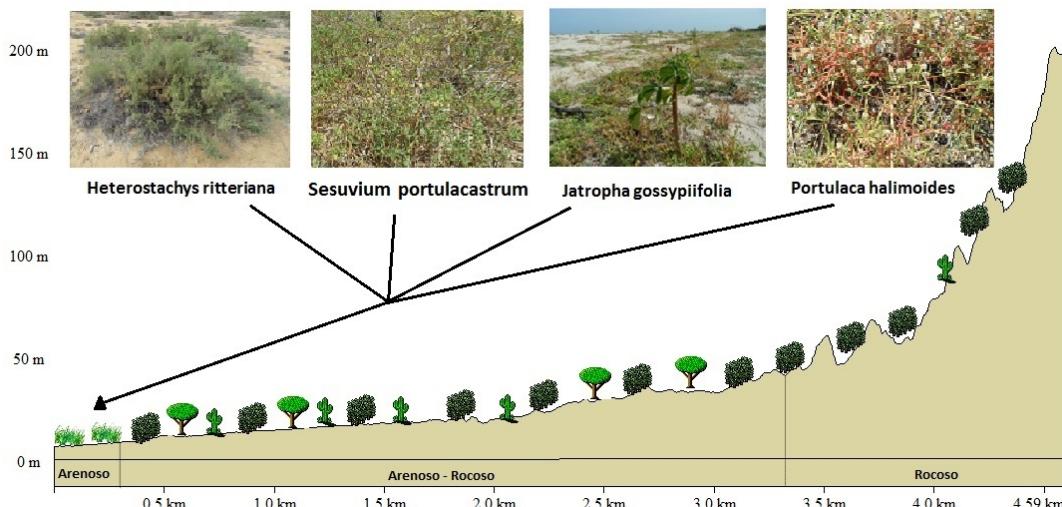


Figura 123. Perfil asociación *Heterostachys ritteriana - Sesuvium portulacastrum*.



Figura 124. Asociación *Heterostachys ritteriana* - *Sesuvium portulacastrum* en suelos árenos.

Asociación *Castela erecta* - *Prosopis juliflora* - *Opuntia caracasana*

Esta asociación se encuentra en la mayoría del área de estudio sobre los suelos Arenosos – rocosos hasta un altura de 60 msnm (Figura 125). Composición florística: Las especies características incluyen a *Stenocereus griseus*, *Pilosocereus lanuginosus*, *Parkinsonia praecox* y *Melocactus curvispinus*. Entre las especies dominantes aparecen *Castela erecta* - *Prosopis juliflora* y *Opuntia caracasana* Fisionomía: Arbustal espinoso (Figura 126) con elementos que alcanzan hasta 6 m de altura y con un estrato arborescente con cobertura del 48% dominado por *Prosopis juliflora* con 70% de cobertura relativa, *Pilosocereus lanuginosus* 15%, *Stenocereus griseus* 10% y *Parkinsonia praecox* 5% con presencia puntual. En el estrato arbustivo 30% de cobertura dominan *Castela erecta* 100%, en el herbáceo con cobertura de 22% dominan *Opuntia caracasana* 95% y *Melocactus curvispinus* 5% con presencia puntual. Distribución: se ubica en las unidades de paisaje; HA,QII,Lla,RZJbsk,AR - HA,Qt,Gla,PZBc,AR - HA,Qt,Mon,LZCbs,AR

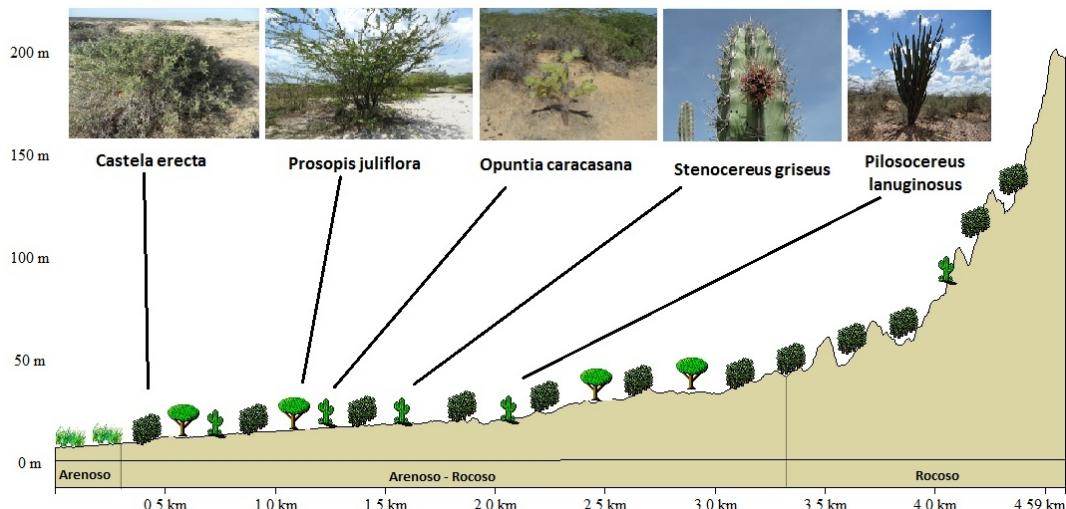


Figura 125. Perfil asociación *Castela erecta* - *Prosopis juliflora* - *Opuntia caracasana*.

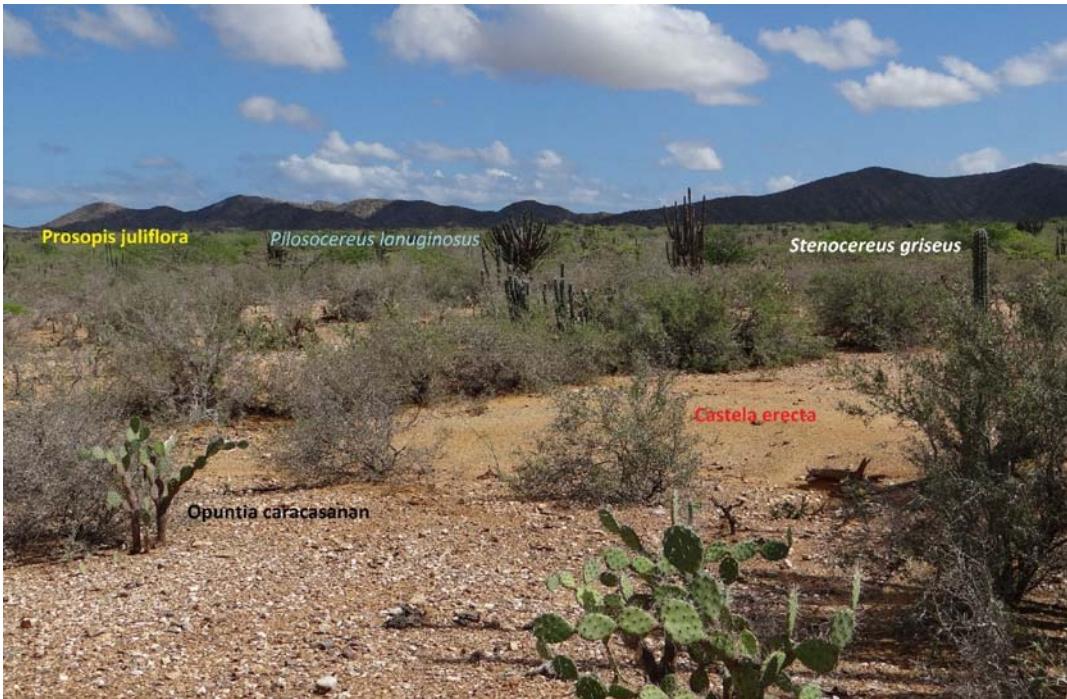


Figura 126. Asociación *Castela erecta* - *Prosopis juliflora* - *Opuntia caracasana* en suelos árenos – rocosos.

Asociación *Castela erecta* - *Stenocereus griseus* - *Pilosocereus lanuginosus*

Esta asociación se encuentra en el alta de montaña y Sierra sobre los suelos Rocosos hasta una altura de 200 msnm (Figura 127). Composición florística: Las especies características incluyen a *Stenocereus griseus*, *Pilosocereus lanuginosus*. Entre las especies dominantes aparecen *Castela erecta*. Fisionomía: arbustal espinoso bajo (Figura 128) con elementos que alcanzan hasta 3 m de altura y con un estrato arbustivo con cobertura del 100% dominado por *Castela erecta* con 80% de cobertura relativa, *Stenocereus griseus* 10%, *Pilosocereus lanuginosus* 10%. Distribución: se ubica en la unidad de paisaje; HA,PEbh,Sie,LZEf,AR

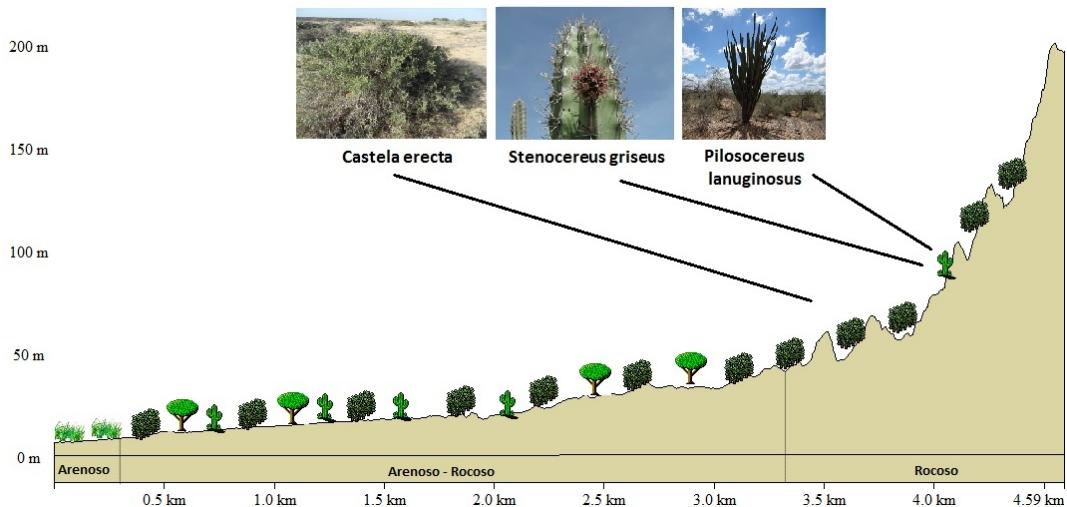


Figura 127. Perfil asociación *Castela erecta* - *Stenocereus griseus* - *Pilosocereus lanuginosus*.

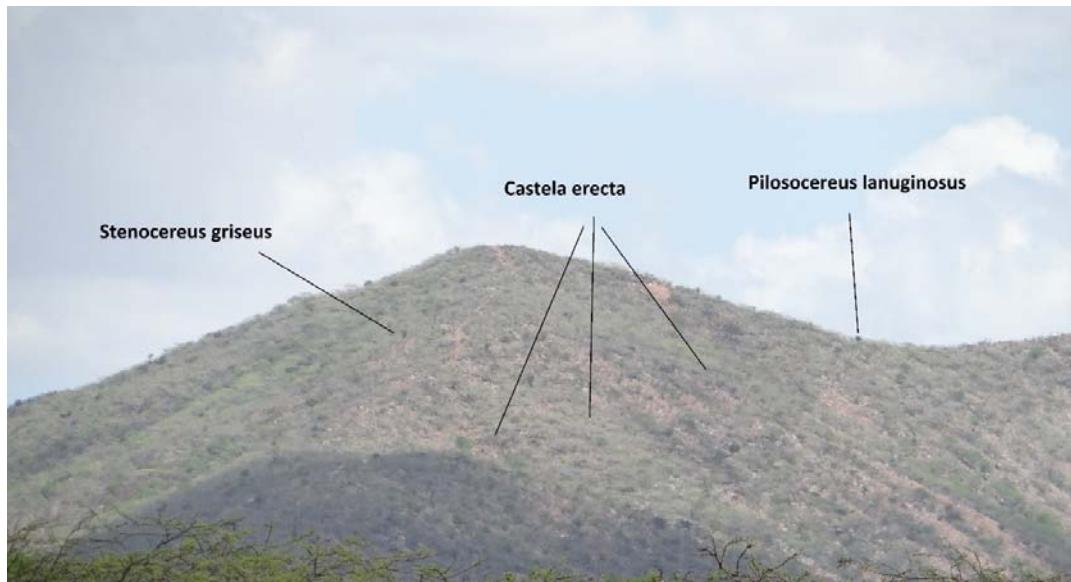


Figura 128. Asociación *Castela erecta* - *Stenocereus griseus* - *Pilosocereus lanuginosus* en suelos rocosos

4.6 DINÁMICA DE NUTRIENTES EN EL SUELO

Los nutrientes del suelo son otro de los factores claves en la formación del patrón Leonardo la disponibilidad de un suelo en cuanto a capacidad para que las plantas se desarrollen sanas está fuertemente influenciada por los llamados macronutrientes Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), el pH y la disponibilidad de agua que puede ser absorbida por las raíces. Para poder estudiar estas características en relación con los parches de vegetación y el suelo desnudo se recolectó información en terreno para analizar si existía una variabilidad espacial en estos aspectos. Durante la salida de campo se tomaron muestras (Figura 129) In-Off en un transecto representativo que abarcó 5,6 km de largo y 7 estaciones con dos muestras en cada estación (Figura 130). Las muestras se ubicaron en la parte sur del área de estudio, para tener la mayor representación posible en cuanto a vegetación y suelo.



Figura 129. Toma de muestras (In-Off) en la vegetación y el suelo desnudo.

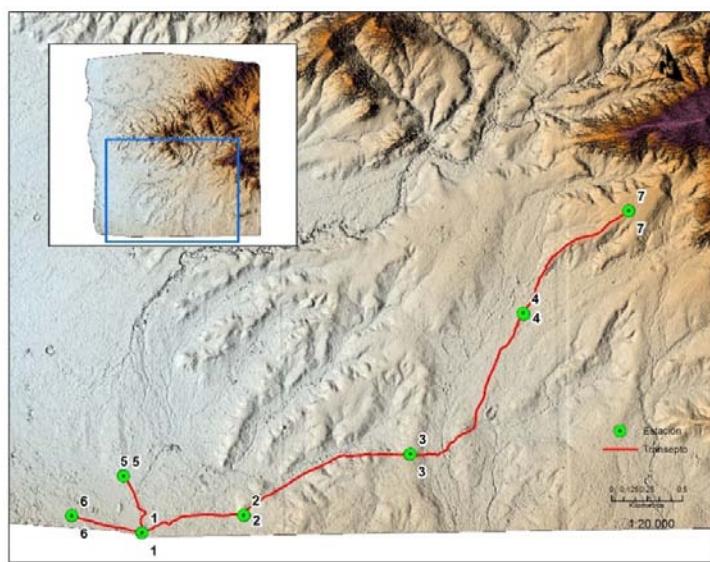


Figura 130. Transecto y estaciones para evaluar la variabilidad de nutrientes.

Los datos recabados en la salida de campo con el kit de pruebas de macronutrientes en suelo y la sonda de humedad, se visualizan en la tabla 33. Las medidas de N, P, K tienen como unidad 1 ppm = 1 mg / kg, la humedad se midió en variación de 0 a 9 según el instrumento.

Tabla 33. Resultado transecto de estaciones de macronutrientes pH y humedad.

ID	Sitio	Est	pH	N	P	K	Humedad
in	Vegetación	1	7,40	9 (Bajo)	90(alto- Medio)	185(Bajo)	4,5(Húmedo)
off	Suelo	1	7,50	7(Bajo)	40(Medio)	150(Bajo)	3,9(Semi húmedo)
off	Suelo	2	7,50	41(Medio)	80(Medio- Alto)	130(Bajo)	3,1(Semi húmedo)
in	Vegetación	2	7,50	25(Medio-Bajo)	85(Medio- Alto)	210(Medio -Bajo)	3,5(Semi húmedo)
off	Suelo	3	7,40	11(Bajo)	20(Bajo)	130(Bajo)	2,5(Neutro)
in	Vegetación	3	7,40	23(Medio-Bajo)	80(Medio- Alto)	150(Bajo)	3,1(Semi húmedo)
off	Suelo	4	7,40	11(Bajo)	90(Medio- Alto)	140(Bajo)	2,0(Seco)
in	Vegetación	4	7,40	28(Medio-Bajo)	30(Bajo)	145(Bajo)	2,5(Neutro)
in	Vegetación	5	7,10	9(Bajo)	90(Medio- Alto)	150(Bajo)	3,8(Semi húmedo)
off	Suelo	5	7,50	7(Bajo)	80(Medio- Alto)	185(Bajo)	3,5(Semi húmedo)
off	Suelo	6	7,50	7(Bajo)	90(Medio- Alto)	140(Bajo)	4,1(Húmedo)
in	Vegetación	6	7,50	9(Bajo)	95(Medio- Alto)	150(Bajo)	4,5(Húmedo)
off	Suelo	7	7,10	11(Bajo)	40(Medio)	140(Bajo)	1,5(Muy seco)
in	Vegetación	7	7,10	31(Medio-Bajo)	80(Medio- Alto)	140(Bajo)	1,9(Seco)
Promedio			7,38	16 (Bajo)	71 (Medio- Alto)	153(Bajo)	3,0 (Neutro)

La información de las características N, P, K se enfocó principalmente en estudiar nutrientes móviles, fácilmente analizables en los primeros 30 centímetros del suelo, para lo cual se utilizó el barreno Hoffer obteniendo muestras de 10 a 30 cms de profundidad según la penetración en el suelo debido a las diferentes durezas por los horizontes petrocálcicos presentes en muchas zonas del área. Luego de separar y organizar las muestras del transecto la primera característica que se evaluó fue el pH, este arrojó un promedio de 7,38 (Figura 131) lo que ubicó las muestras en el rango de básico, un valor que permite a las plantas asimilar los nutrientes fácilmente, siendo lo esperado al tener la zona gran presencia de sales y de suelos de zonas áridas (Aridisoles) con características de básicas a alcalinas por la baja precipitación.

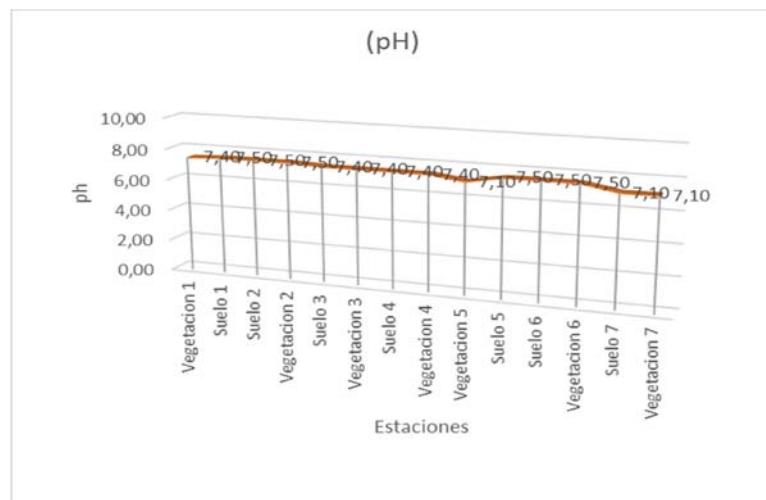


Figura 131. Muestras del pH sobre las estaciones en el transecto.

Seguido al análisis del pH se comenzó con las pruebas sobre los macronutrientes Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K). El nutriente que mejor favorece el desarrollo de la biomasa aérea de las plantas es el Nitrógeno, este es el que proporciona el color verde a las hojas, al aplicar las pruebas sobre el nitrógeno y analizar su comportamiento se pudo evidenciar que existía una variación dentro de la vegetación y el suelo desnudo (Figura 132) donde la mayoría (6 de 7) de las estaciones mostraron una tendencia a que los valores dentro de la vegetación fueran ligeramente superiores demostrando que el Nitrógeno varía en función de la cobertura. La estación numeró 2 presentó un incremento muy superior a las otras estaciones. Teniendo en cuenta que en el ciclo del nitrógeno los animales son el principal elemento fertilizante, esto podría explicar los valores más altos en esta estación, ya que sobre el suelo desnudo circundante se encontraron rastros de excrementos de animal (Figura 133). Los valores de nitrógeno en general fueron clasificados como bajos con 16 ppm.

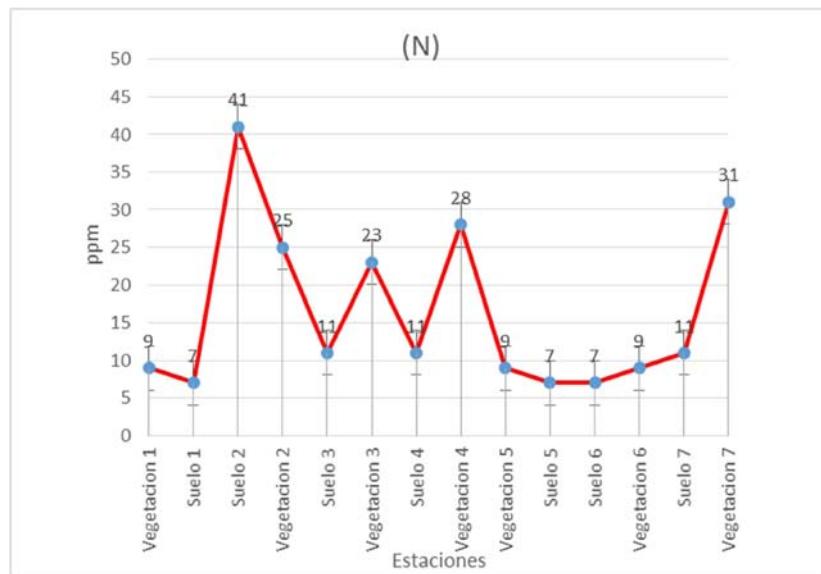


Figura 132. Muestras del nitrógeno sobre las estaciones en el transecto.



Figura 133. Evidencia de excrementos cerca de la estación 2 del transecto.

El siguiente macronutriente que se analizó fue el Fósforo (P), este es el componente esencial en las enzimas vegetales implicadas en la transferencia de energía de los procesos metabólicos, participa en la fotosíntesis y la respiración, es un componente esencial en la membrana celular, favorece el desarrollo radicular y durante la floración favorece la maduración de los frutos. Con las pruebas de suelo el Fósforo arrojó resultados muy parecidos en todas las estaciones comportándose en la misma forma que el Nitrógeno (6 de 7 estaciones) al demostrar variaciones en los lugares vegetados con incrementos en los valores a diferencia de los lugares no vegetados con valores más bajos, solo la estación 4 mostró una tendencia inversa (Figura 134). El Fósforo promedio se clasificó como medio - alto con 71 ppm un valor que indica la disponibilidad de este nutriente para las plantas en el área.

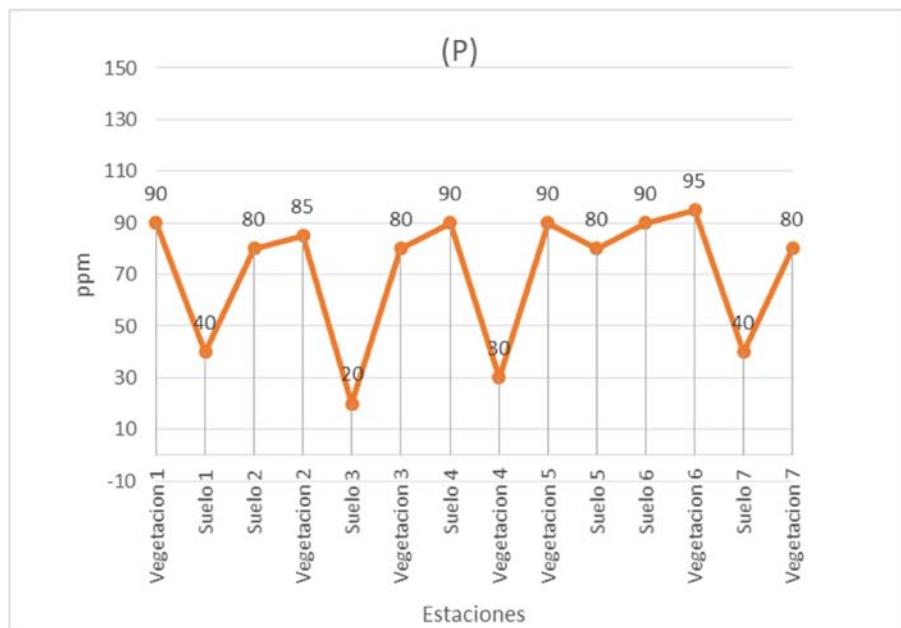


Figura 134. Muestras del fosforo sobre las estaciones en el transecto.

El Potasio (K) es el elemento que controla la respiración abriendo y cerrando los estomas y actuando sobre los cloroplastos, y la fotosíntesis. Moviliza los azúcares desde las hojas a zonas de almacenaje, aumenta la resistencia de las plantas a enfermedades. Este macronutriente tuvo un comportamiento similar a los otros elementos incrementando los niveles en las áreas vegetadas y descendiendo en las áreas sin vegetación (6 de las 7 estaciones) en la estación 5 la tendencia fue inversa teniendo valores superiores en el suelo y no en la vegetación (Figura 135). En general el valor fue bajo con 153 ppm promedio lo que indica baja disponibilidad para las plantas.

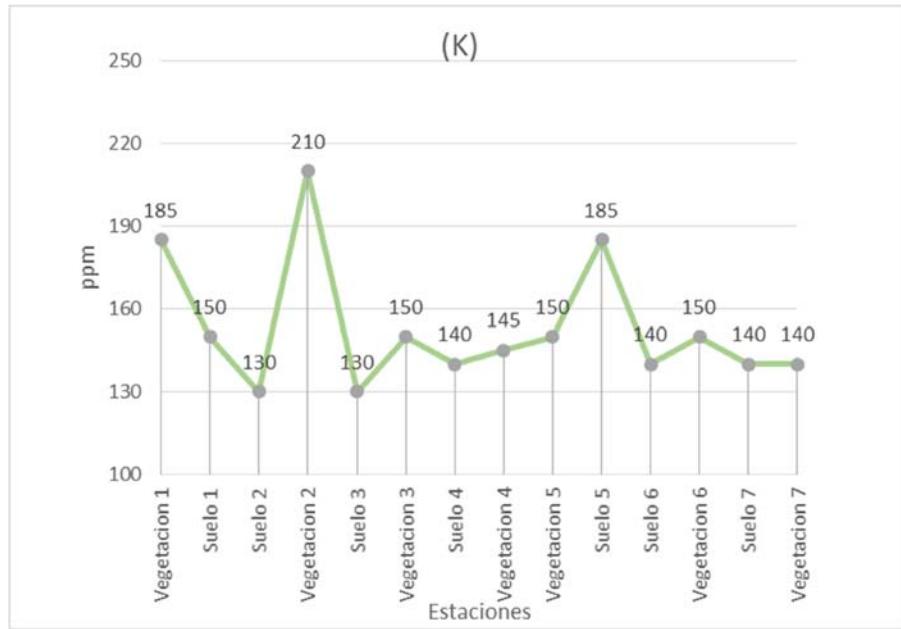


Figura 135. Muestras del potasio sobre las estaciones en el transecto.

El último análisis de los nutrientes en la vegetación fue la distribución de la humedad en los parches y el suelo desnudo, este fue uno de los resultados coincidente con muchos de los autores en la bibliografía. Por medio de la sonda de humedad se pudo verificar la existencia de un aumento en la humedad del suelo dentro de la vegetación y una disminución en los lugares donde el suelo estaba desnudo (Figura 136), esto se debe principalmente a que las raíces de la vegetación permiten un aumento de la infiltración y mayor retención de la humedad (Figura 137). Los valores promedio de las estaciones fueron 3,0 ubicando las muestras en el valor neutro de humedad teniendo en cuenta el momento de la toma de datos (Final del periodo húmedo - Octubre).

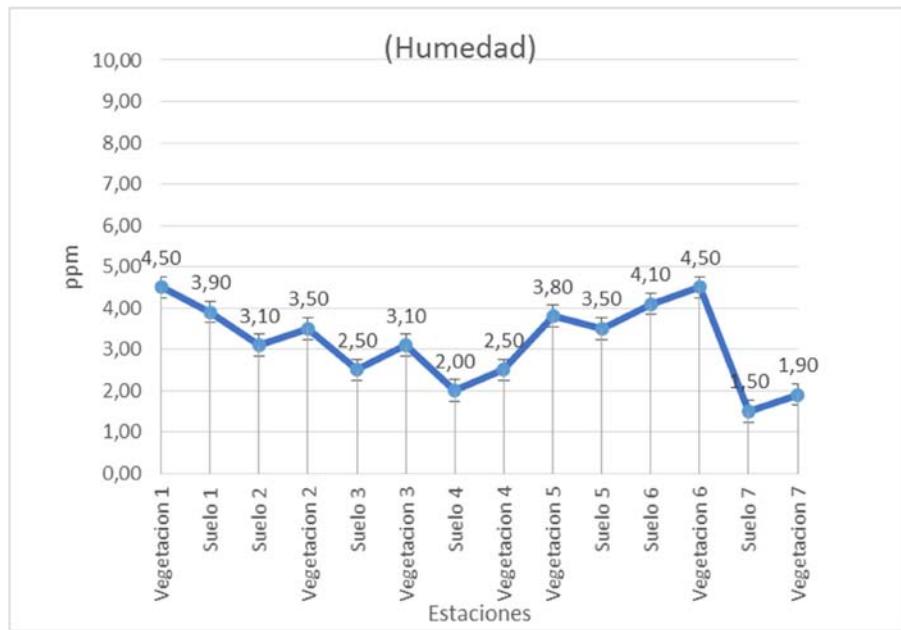


Figura 136. Muestras de humedad sobre las estaciones en el transecto.



Figura 137. Muestras de humedad dentro de la vegetación.

4.7 RELACION DE VARIABLES

Para analizar los procesos que desencadenan la formación y el desarrollo del patrón Leonardo en el área de la Guajira Colombiana se relacionan las variables anteriormente analizadas realizando una síntesis de los aspectos más relevantes que interviene en el proceso de creación de este tipo de formación vegetal. Para ello, se integró la información espacial, se determinaron los factores clave, los procesos y las propiedades que influyen en la heterogeneidad espacial y sobre la estructura y dinámica que permite que dentro del paisaje se desarrollen estas formaciones.

4.7.1 Unidades de paisaje y formaciones vegetales

Las unidades de paisaje fueron uno de los aspectos síntesis que permitieron visualizar las relaciones directas existentes entre aspectos físicos como el clima, los suelos, la geomorfología y aspectos bióticos como la vegetación, al ser un esquema que integra de manera espacial estas relaciones se pudo aislar cuales unidades de paisaje permitían el desarrollo del patrón y cuáles no, se encontró que el patrón se desarrolla dentro de tres unidades de paisaje (HA,QII,Lla,RZJbsk,AR - HA,Qt,Gla,PZBc,AR - HA,Qc,Pl,RZAa,VB) donde confluyen 5 de las propiedades más relevantes (Tabla 34 y Figura 138).

Tabla 34. Leyenda de unidades fisiográficas de paisaje donde se encuentra el patrón Leonardo.

Unidad climática	Id Uc	Geología	Id Geol	Unidad geomorfológica	Id_Geo mor	Suelo	Id Suelo	Cobertura	Id_C ober	UP CODE
Desierto (Hiperarido)	H A	Depósitos costeros de playón y barra	Qc	Playa	PI	Typic Torripsamm ents	RZAa	Vegetación baja	VB	HA,Qc,Pl,RZAa,VB
Desierto (Hiperarido)	H A	Depósitos de llanuras aluviales	QII	Llanura costera	Lla	Typic Haplocambi ds	RZJbsk	Arbustal	AR	HA,QII,Lla,RZJbsk ,AR
Desierto (Hiperarido)	H A	Terrazas Aluviales Deposito de Grava	Qt	Glacis	Gla	Typic Haplocalcid s	PZBc	Arbustal	AR	HA,Qt,Gla,PZBc,AR

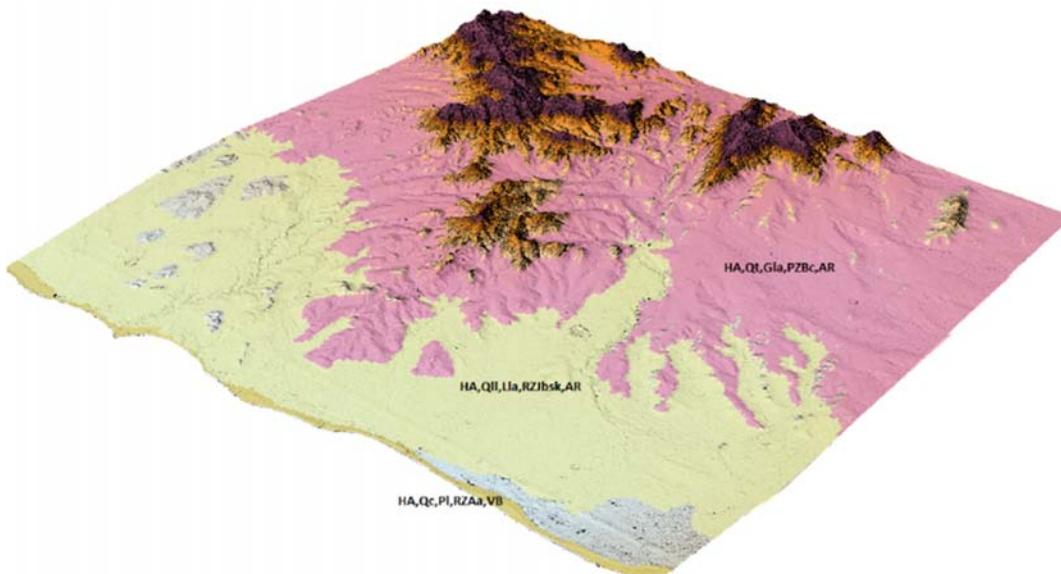


Figura 138. Vista en 3d unidades fisiográficas de paisaje donde se encuentra el patrón Leonardo.

El aspecto climático es el primer clasificador del paisaje el cual dentro del área se identifica como Híper árido. Según la clasificación De Martonne es una característica crítica ya que la precipitación según el climograma ubica esta región dentro de los 27,82 mm de promedio anual con un máximo de precipitación de 100 mm en los 27 años de análisis. Revelando en especial que la falta de precipitación en largos períodos de tiempo es una característica dominante en este patrón. Los aspectos geológicos y geomorfológicos ubicaron las unidades dentro de los procesos erosivos y de acumulación de la zona costera, algunos de los depósitos son generados por la erosión de las montañas más altas (serranía) que depositan sus materiales cuesta abajo por acción eólica, de la gravedad y de los procesos hídricos en época de lluvia generando la unidad geomorfológica denominada Glacis. El otro proceso de depósito y erosión es la playa, generado por acción del balance de sedimentos entre la tierra y el mar; finalmente, la Llanura costera es una zona relativamente plana (6% de pendiente promedio) resultado de depósitos aluviales en épocas de lluvia o de tormenta y de los procesos geológicos a través del tiempo. Estos aspectos geomorfológicos permitieron el desarrollo de suelos con pH básicos tipo Aridisoles (Typic Haplocalcids, Typic Haplocambids) presentes en las unidades geomorfológicas de la Llanura costera y Glacis, suelos con contenidos cárnicos que en época de lluvia o cuando afloran aguas por acción capilar generan límites petrocárnicos y depósitos de sales, son suelos pobres desde el punto de vista agrológico no permitiendo el desarrollo de vegetación no adaptada a este tipo de ambientes. En la zona de playa existe la presencia de Entisoles (Typic Torripsammen) suelos arenosos de playa resultado de los procesos fluviales y marinos en zonas costeras muy áridas o desérticas. El aspecto biótico relacionado fuertemente con los aspectos abióticos fue la vegetación al encontrarse 2 grandes asociaciones de especies vegetales que conforman los parches (Asociación *Heterostachys ritteriana* - *Sesuvium portulacastrum* y Asociación *Castela erecta* - *Prosopis juliflora* - *Opuntia caracasana*). Estas asociaciones son las que componen en el aspecto florístico el interior de los parches de vegetación y se encuentran muy ligadas a la acción del viento, la facilitación y los tipos de suelo, como es el caso de la primera asociación (*Heterostachys ritteriana* - *Sesuvium portulacastrum*) que se desarrolla en los suelos arenosos (Entisoles) cercanos al mar o sobre la pre playa. Mientras que la segunda asociación (*Castela erecta* - *Prosopis juliflora* - *Opuntia caracasana*) se desarrolla a lo largo de los Aridisoles en las unidades geomorfológicas de Llanura costera y Glacis donde predominan los suelos con mezcla de arenoso y rocoso (Figura 139).

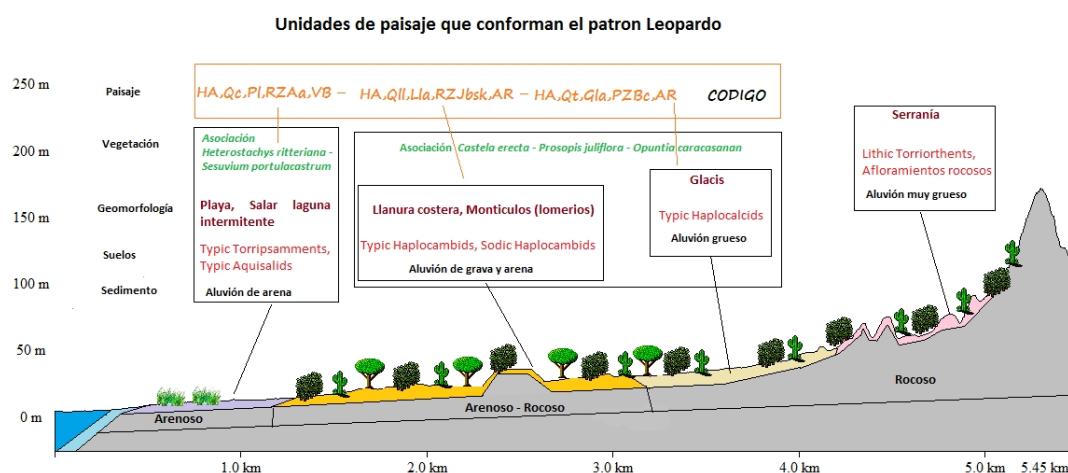


Figura 139. Perfil del área de estudio que muestra las relaciones sobre el paisaje que conforman el patrón Leopard.

4.7.2 Fragmentación, presión antrópica y de los animales

La fragmentación de los ecosistemas en especial en las zonas áridas es un indicativo de la reducción de la cobertura y del aceleramiento de la degradación de la tierra, al evaluar cómo había sido la evolución de las coberturas vegetales en el área de estudio se pudo constatar que a través del tiempo la cobertura vegetal (18,72%) ha venido decayendo frente al aumento de los suelos desnudos (81%), los valores de cobertura en las zonas áridas generalmente son bajos por la poca disponibilidad de nutrientes en el suelo y la baja o nula precipitación, pero la fragmentación a gran escala de las coberturas no se da de manera natural sin un elemento que genere la perturbación, dicho elemento alterador del equilibrio natural en el área es el hombre. Alrededor de toda la zona se puede notar el efecto que este tiene sobre el territorio, así como, a través de las imágenes de satélite se comprobó el efecto que ha tenido sobre la cobertura vegetal. Al evaluar la zona con los índices de fragmentación, estos revelaron la continua disminución en la cobertura, y aumento en la cantidad de los fragmentos de la clase arbustal, la disminución de las distancias entre parches y la reducción del tamaño de los parches de vegetación. Por otro lado, en la clase suelo desnudo se dió el efecto contrario disminuyendo la cantidad de los fragmentos de la clase, también disminuyeron las distancias entre parches y aumentó el tamaño de los parches de suelo desnudo (Figura 140)

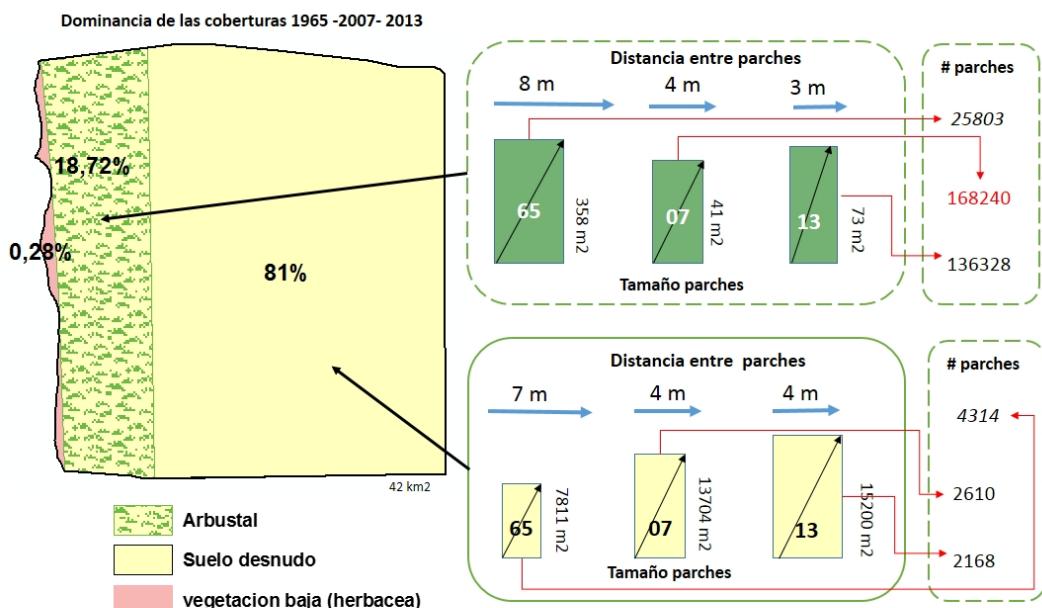


Figura 140. Evolución de la fragmentación de la cobertura en el área 1965, 2007, 2013.

El efecto de la fragmentación del ecosistema vegetal se encuentra relacionado con la presión antrópica en el área, la cual quedó demostrada con el pasar de los años y el aumento en las estadísticas de construcciones en cuanto a rancherías, caminos, jagüeyes y corrales, así como, el aumento de la población a través del tiempo. Lo que evidenció la fuerte presión a la que la cobertura y el territorio se ven sometidos año tras año. Las coberturas fueron afectadas principalmente por la ruptura de la vegetación para crear caminos y senderos por donde transitan los vehículos (personas, bicicletas, motos y 4x4). Al analizar la evolución de los caminos y las diferencias a través de los años se visualizó en el mapa combinado donde se muestran todos los años (1965, 2007, 2013), evidenciando la gran cantidad que existen en el área de

estudio (324,5 km en 2013) distribuyéndose ampliamente sobre toda la zona con excepción de las partes altas en los que hay muy pocos (Figura 141).

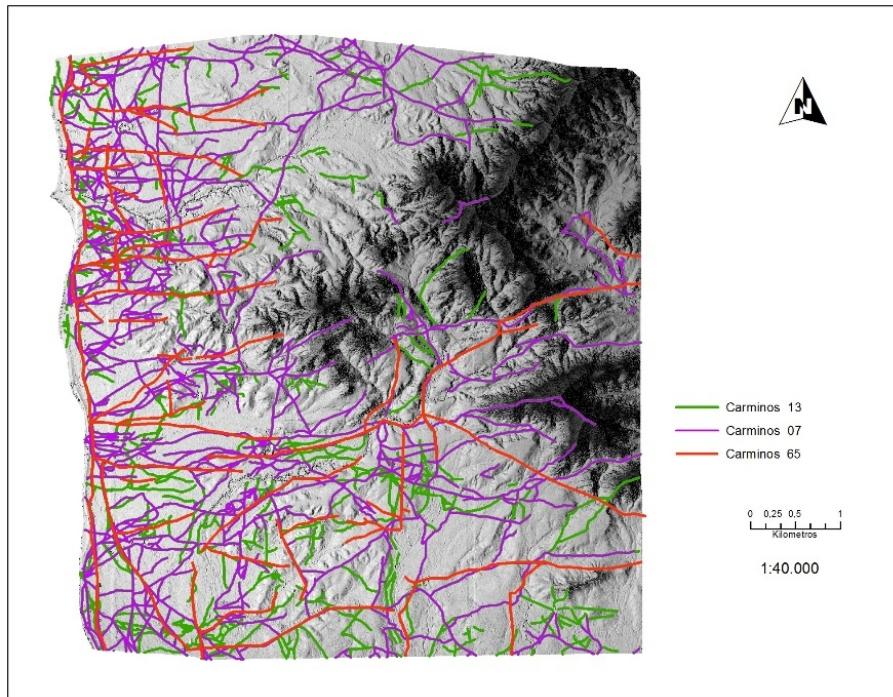


Figura 141. Mapa de caminos combinados 1965, 2007, 2013 (Ver mapa en Anexo 15).

El otro elemento antrópico que genera la mayor perturbación en la vegetación es el pastoreo, muchos animales domesticados (cabras y ovejas) tienen comportamientos que conducen a la heterogeneidad de la vegetación, al seguir un patrón de movimiento que genera rutas regulares alrededor de los puntos de agua, descanso y alimento. Este aspecto aumenta en presión, rango y distancia durante los años de sequía o con fenómeno del Niño (año 2007); conllevando a una alteración de la vegetación por el herbivorismo de los ungulados, desarrollándose por toda el área principalmente por que los animales pastan libres y sin control alguno. El principal factor que determina la dispersión de animales por la zona es el relieve, este es relativamente plano (6% de pendiente promedio) lo que ayuda a que se dispersen por toda el área en pequeños grupos en los que estos se aglutan. En la salida de campo se observaron grupos de entre 4 y 10 animales por todos los paisajes y alimentándose de todos los tipos de coberturas (Cactus, herbáceas, arbustos espinosos) presentes en el área. Según la literatura (Arnold et al 1978) en cuanto más deteriorada es la pastura más subgrupos son formados para realizar el pastoreo lo que con lleva un nivel de separación mayor, en el área se encontró evidencia de que muchos animales pastaban en solitario (Figura 108) dando a entender que se puede llegar al nivel máximo de separación unos de otros. Por otro lado, esta dispersión tiene un efecto benéfico para algunas especies más palatables para los ungulados logrando dispersar su semilla por toda el área gracias a estos.

El otro elemento que interviene en el proceso de la fragmentación vinculado a los animales es el efecto del pisoteo sobre el suelo, los animales dejan su huella al recorrer el área modificando la estructura del suelo con sus pezuñas por el efecto de la pisada al compactar el suelo y romper el equilibrio natural. Esta compactación hace que se pierdan los nutrientes reduciendo en gran medida los aportes de nitrógeno y carbono debido al retraso en la descomposición del suelo por la disminución de la biota (bacterias y microrganismos), también

aumenta la impermeabilidad reduciendo la disponibilidad de agua para las plantas al disminuir la infiltración, ya que las raíces de las plantas sufren un impedimento mecánico por las capas endurecidas o compactadas que no permiten que estas penetren el suelo. Este efecto también se desarrolla con los caminos creados por los humanos, la compactación por el tránsito en estos lugares tiene el mismo efecto pero a un mayor tamaño debido a las huellas humanas y a los neumáticos de los vehículos, los cuales generan los mismos efectos sobre el suelo pero más rápidamente degradando las zonas a mayor velocidad (Figura 142). Finalmente, la superficie del suelo perturbado causa la pérdida acelerada de este a través de la acción del viento y de la erosión del agua que arrastra los nutrientes en épocas de precipitación.



Figura 142. Efecto de las pisadas de los animales (izq) y efectos de las huellas de vehículos (Der).

4.7.3 Rugosidad topográfica y perfil del viento

Esta es una cualidad que fue derivada del modelo de superficie (DSM) y los datos de pendiente, es calculada aplicando la fórmula de longitud de rugosidad Z_0 , El resultado fue un mapa (Figura 143) que se clasificó con la escala de rugosidades (Tabla 35) en la cual se identifica el comportamiento de un terreno referente a su capacidad de frenar la influencia directa del viento (coeficiente de arrastre) muy útil para evaluar la zona en cuanto a la influencia de la cizalla del viento (principal proceso erosivo) comprobando que la superficie promedio es la más lisa (0,002434) y es donde se ubica la mayoría del patrón siendo representada en la clasificación al mismo nivel de un cuerpo de agua al presentar muy poca resistencia como el mar.

Tabla 35. Clasificación de rugosidad de terrenos Tomado de (Wieringa, 1993)

Z_0 (m)	Clasificación	Descripción del terreno
≤ 0.0002	Mar	Agua en calma, llanuras nevadas
0.005	Liso	Campos nevados
0.03	Abierto	Terreno abierto y llano, hierba, algunos obstáculos aislados:
0.1	Abierto rugoso	Cultivos bajos, grandes obstáculos ocasionales
0.25	Rugoso	Cultivos altos, obstáculos dispersos:
0.5	Muy rugoso	Parques, matorrales, obstáculos numerosos:
1	Cerrado	Densa cobertura regular de obstáculos: bosques
≥ 2	Caótico	Bosques irregulares con claros

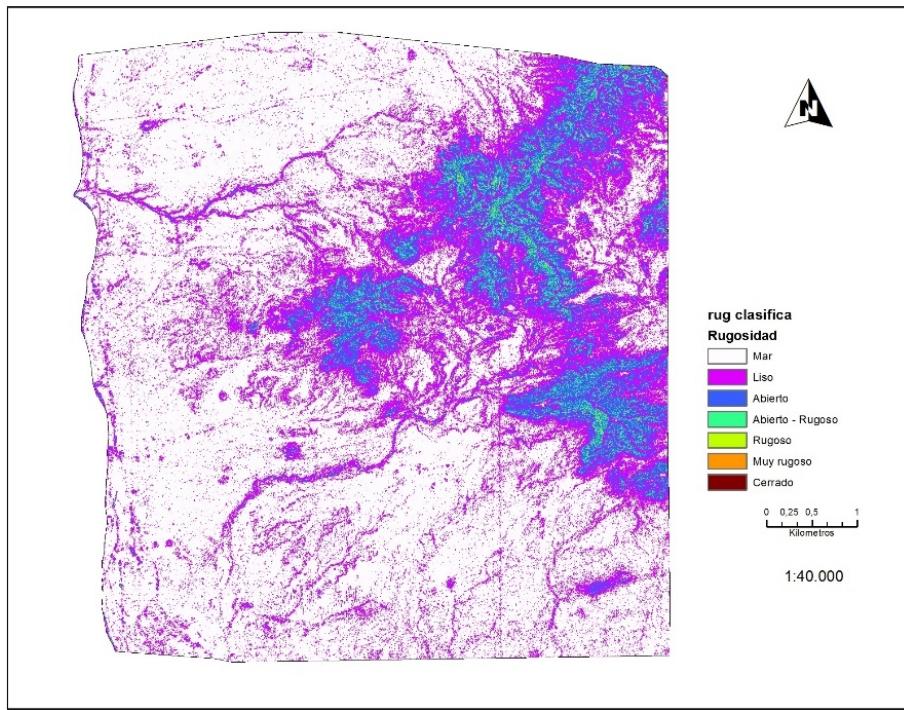


Figura 143. Mapa de rugosidad en la zona de estudio (Ver mapa en Anexo 16).

Las velocidades de viento medias se obtuvieron a partir de datos meteorológicos medidos a una altura de 10 metros. Los datos de velocidad del viento promedio en el área fueron 11.7 m/s en 2012, con esta información más la rugosidad promedio, se graficó la variación de la velocidad del viento aplicando la fórmula $v = v_{ref} \ln(z/z_0) / \ln(z_{ref}/z_0)v$ (Figura 144).

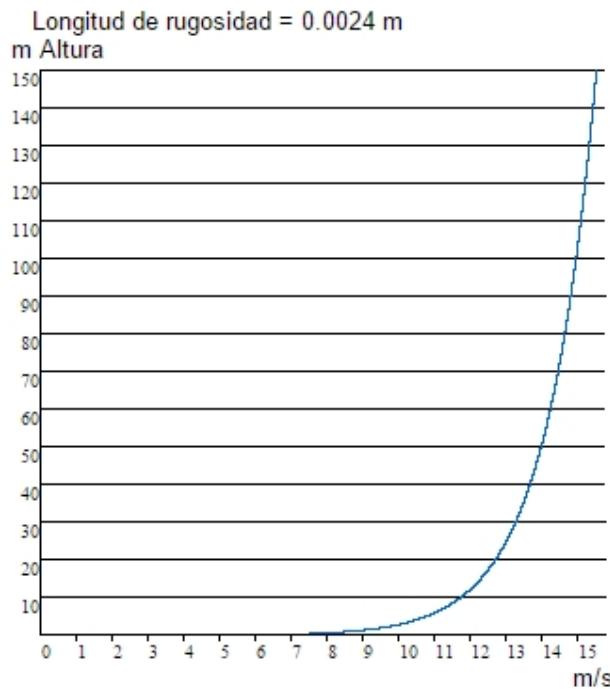


Figura 144. Cálculo del perfil logarítmico de la velocidad del viento en el área.

El perfil del viento se mueve hacia velocidades más bajas conforme se acerca al nivel del suelo lo que suele llamarse cizallamiento del viento. El cizallamiento del viento es importante en el análisis de cómo se conforma el patrón Leopard por la influencia directa que tiene en la redistribución de nutrientes sobre la vegetación (Isla de fertilidad) y la distribución de las semillas. El efecto de la fricción sobre la cizalla es acelerar el aire más lento y desacelerar el más rápido, esto se traduce en el arrastre, y por tanto la fricción. El viento es frenado por la rugosidad de la superficie de la tierra y por los obstáculos. La velocidad del viento varía directamente proporcional con la altura, a menor altura se ve afectado por la rugosidad del suelo. Para mapear este efecto se desarrolló la fórmula con los valores de rugosidad (mapa) y los datos de velocidad promedio del viento (Figura 145). El área se clasificó en rangos según la escala de velocidad del viento, donde se reveló que la mayoría del área se ubica en la escala de Beaufort entre 11 y 14 m/s teniendo en cuenta que esta velocidad es solo en la superficie del terreno sin contar el efecto de frenado o arrastre de los elementos existentes sobre la superficie (casas, vegetación, corrales Etc.). Se ubicó el área en la clase de nivel fuerte. Durante la salida de campo se recabó información del viento predominante en la zona a nivel del suelo y de la vegetación que comprueba la gran velocidad que el viento presenta a nivel de la vegetación.

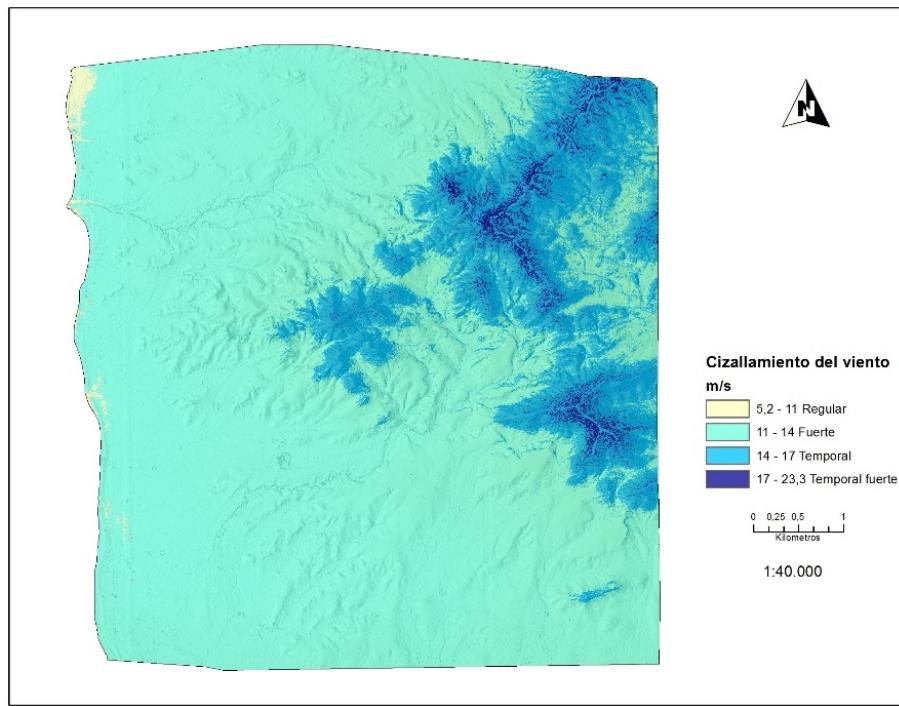


Figura 145. Mapa cizalladura del viento a nivel topográfico.

Para tener más claro como era esta interacción entre la topografía y los elementos se utilizaron las observaciones de campo y se aplicó una interpolación kriging sobre los datos de viento. Los datos puntuales se introdujeron en ArcGis y con su módulo de geoestadística se realizó una interpolación con kriging ordinario sin ninguna trasformación de datos y con un modelo de semivariograma Stable. El modelo arrojo un error en RMS de 0.89 realizando un buen ajuste de los datos como lo muestra la gráfica de error (Figura 146) y el mapa de error en la predicción (Figura 147).

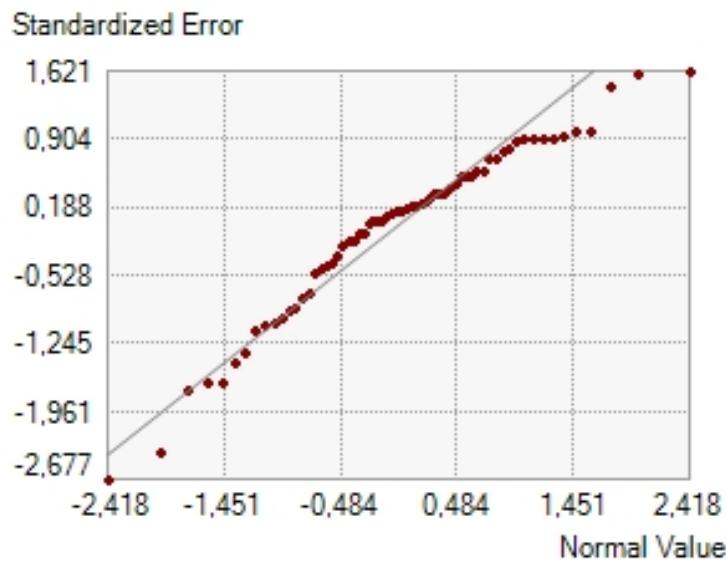


Figura 146. Distribución del error interpolación kriging de viento a nivel del suelo.

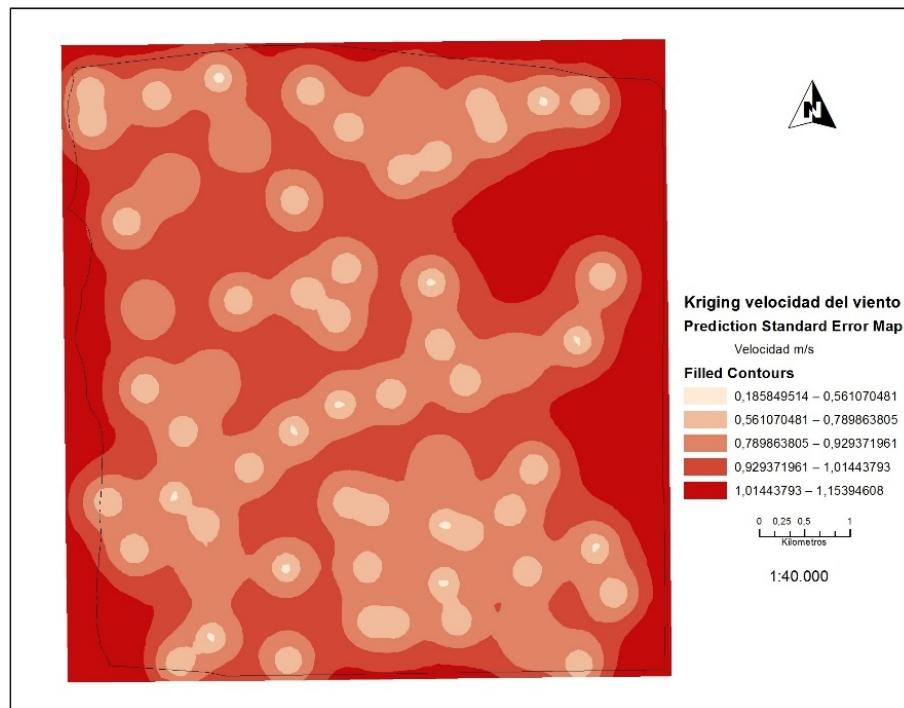


Figura 147. Mapa del error interpolación kriging de viento a nivel del suelo.

El mapa de velocidad del viento en tierra (Figura 148) muestra que la clase dominante en casi toda el área según la clasificación de Beaufort es viento leve.

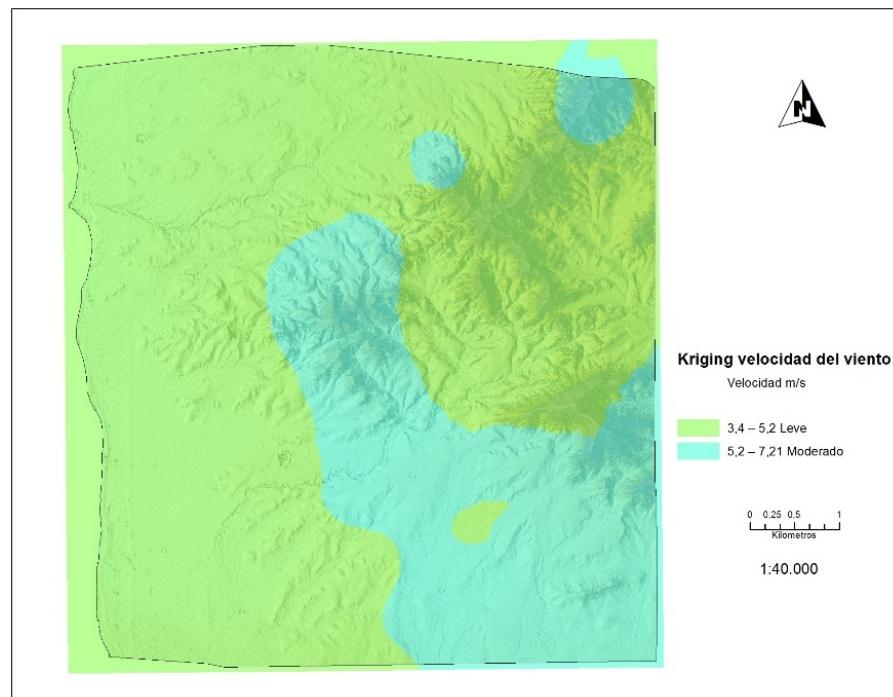


Figura 148. Mapa viento a nivel del suelo.

En campo las medidas fueron realizadas dentro de la vegetación (Figura 149), teniendo en cuenta que estas medidas incluyen el efecto de la rugosidad de los elementos circundantes, se pudo constatar que existe un potencial erosivo – acumulativo predominante a nivel del suelo por acción del viento en nivel de intermedio a fuerte que causa gran cantidad de arrastre de polvo sobre la vegetación (redistribución de nutrientes).



Figura 149. Ejemplo de medida de viento a nivel del suelo dentro de la vegetación sobre la llanura costera (4.51m/s).

4.7.4 Humedad topográfica e Islas de fertilidad

El efecto de la humedad general en el suelo fue relacionado espacialmente interceptando el índice de humedad topográfico y el mapa de coberturas del año 2013 para luego ser reclasificado, este mostró una relación espacial en la que los parches de vegetación que conforman el patrón Leopardo tienden a asentarse principalmente en los lugares por donde puede escurrir o acumular el agua a nivel topográfico (solo en épocas de lluvia), estas áreas se encuentran mayoritariamente en el rango medio y en menor medida el rango alto (Figura 150).

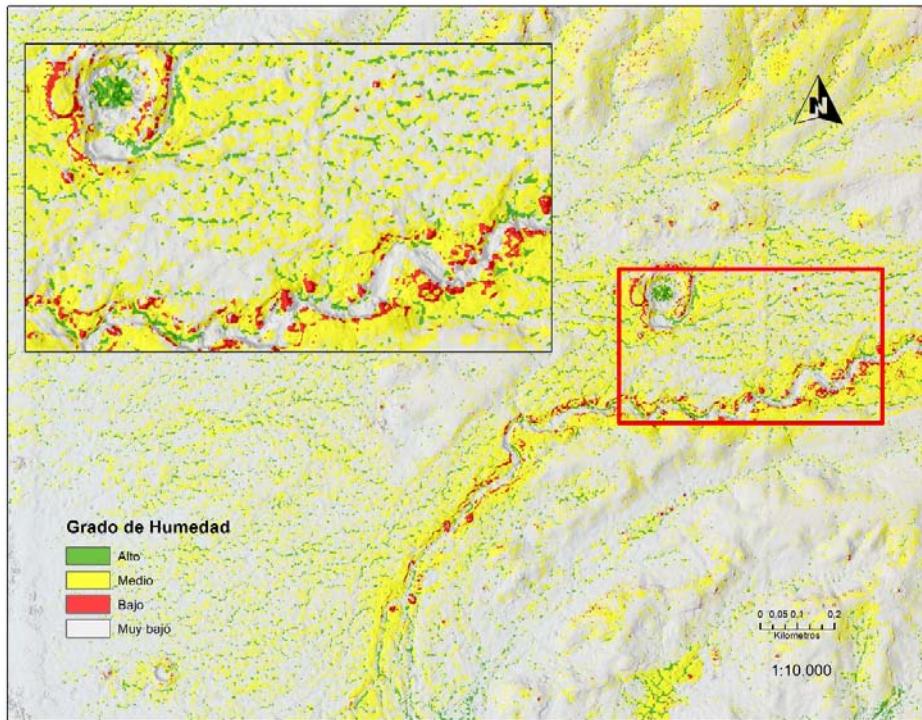


Figura 150. Mapa que relaciona el índice de humedad topográfica y la cobertura presente en, 2013.

Dentro de los parches y las distintas especies individuales afines al patrón Leopardo se pudo encontrar evidencia de un fenómeno muy común en zonas áridas, este fenómeno es llamado isla de fertilidad o isla de recursos, el cual consiste en la creación de un micro hábitat que permite un desarrollo más favorable del ecosistema presente dentro de la isla en contraposición a las zonas que no presentan el fenómeno (suelo desnudo). Estas islas generan cambios en el microclima y en las propiedades del suelo logrando una mayor concentración de nutrientes y diversidad microbiana, durante el trabajo de campo se pudo constatar la existencia de dos tipos de islas de recursos que integran procesos tanto físicos como biológicos y en las cuales se conforman los patrones de la vegetación Leopardo. La primera forma de isla "micro isla" es conformada por plantas individuales (Figura 151 y 152) principalmente arbustos (*Heterostachys ritteriana*, *Castela erecta* y *Prosopis juliflora*) que acumulan una capa o montículo (micro duna) formado a partir de la deposición y posterior estabilización de las partículas del suelo (polvo) transportadas por el viento y retenidas por la rugosidad que estas plantas generan bajo su dosel, mejorando las características locales del suelo y dando lugar a mayores niveles de nutrientes (N,P,K), y aumentando la infiltración en el suelo en los períodos lluviosos, esto se pudo corroborar en los análisis de macronutrientes y humedad dentro de la vegetación. Mientras que los espacios adyacentes sin vegetación son relativamente más estéril y carentes de actividad biótica.

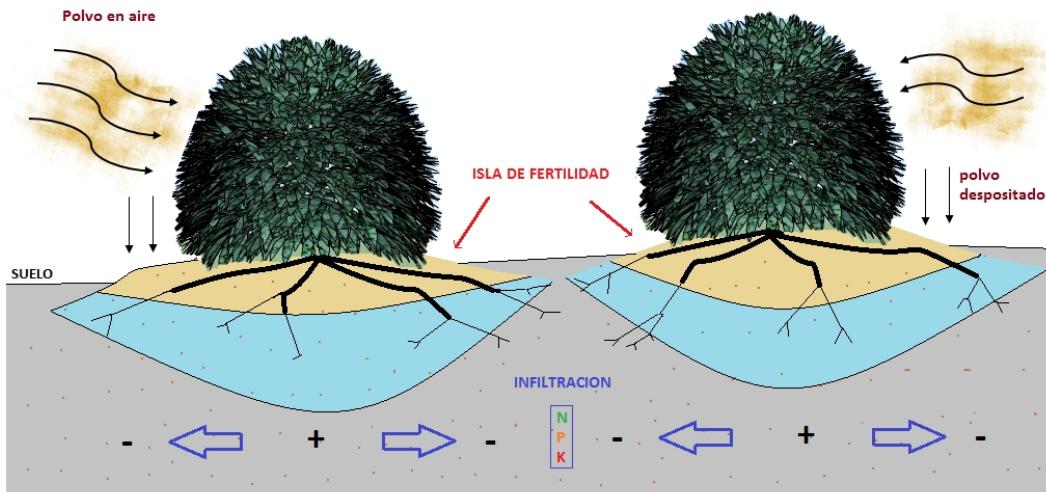


Figura 151. Esquema de formación de una micro isla de fertilidad.



Figura 152. Vegetación con formación de isla de fertilidad individual.

La segunda formación de la isla de fertilidad que conforma los patrones Leopard, fue la "macro isla" este es un hábitat que facilita el establecimiento de varias especies de plantas (efecto nursery) las cuales conforman una isla de fertilidad, el desarrollo de la macro isla comienza con una planta ancla (facilitación) generalmente un arbusto o árbol que crea un efecto sombra (*Prosopis juliflora*) incrementando la riqueza de especies bajo su dosel o alrededor de estos al permitir que las semillas y plántulas de otras especies se desarrollen bajo su efecto de paraguas. Debajo de la planta ancla se encuentran generalmente cactáceas (*Opuntia caracasana*) y arbustos (*Castela erecta*) alrededor o dentro de la zona de las raíces y ramas

colgantes de la especie ancla, cada planta ayuda a la formación de montículos (micro duna) de suelo por deposición (polvo) y en conjunto con la planta ancla estabilizan las partículas llevadas por el viento bajo el dosel y alrededor de esta. A su vez este proceso facilita el establecimiento de otras especies incrementando la riqueza dentro de la isla (Figura 153 y 154). En los datos analizados dentro de las islas de fertilidad se encontró que los valores de nutrientes (N, P, K) eran superiores a los de los suelos desnudos circundantes y sin efecto isla, así como, la humedad fue mucho más alta en las islas que en los espacios de suelo desnudo. Este incremento en los valores de humedad y nutrientes también estimulan la actividad microbiana conduciendo a la heterogeneidad de los suelos lo que permite el desarrollo del patrón Leopard.

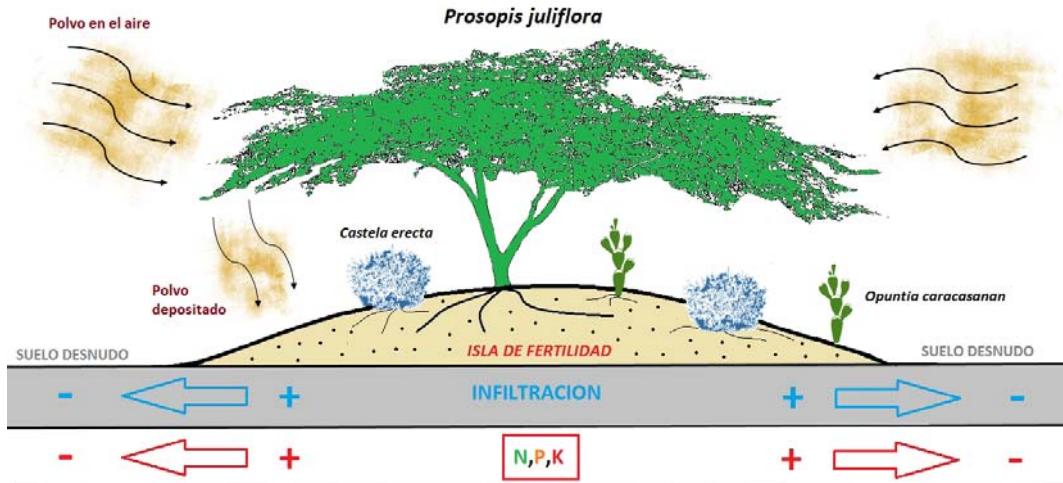


Figura 153. Esquema de la formación de una macro isla de fertilidad.

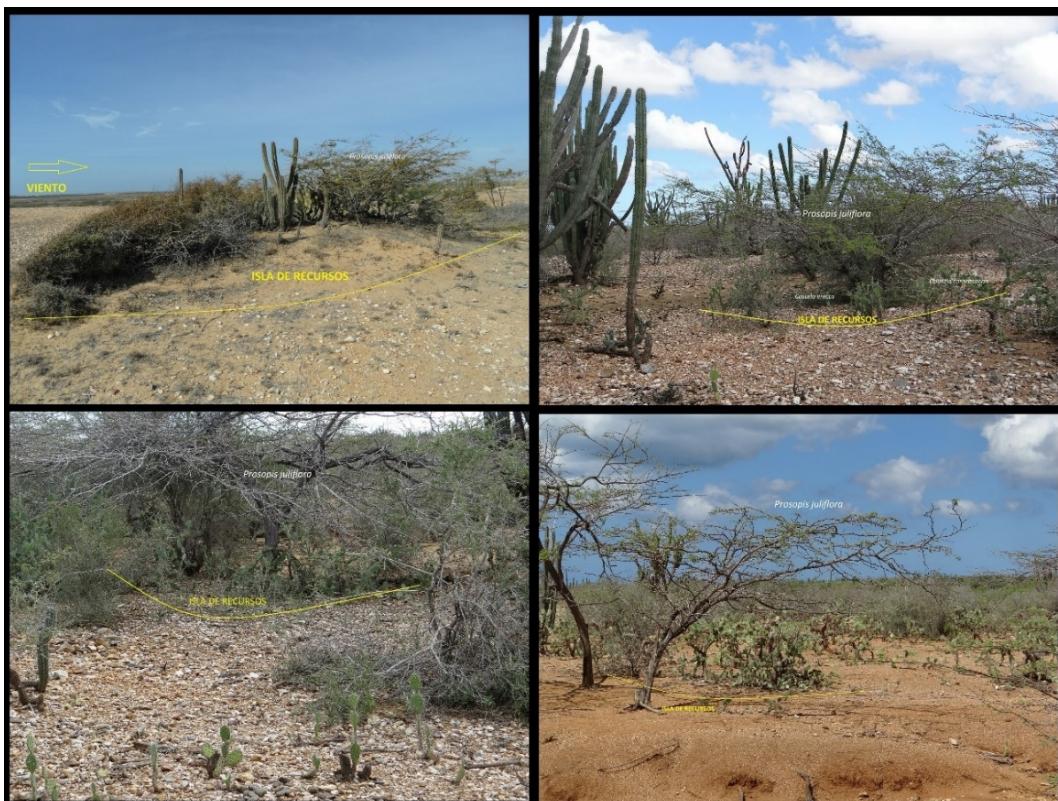


Figura 154. Vegetación con formación de isla de fertilidad grupal.

Finalmente el efecto de la isla de fertilidad y la humedad topográfica se combinan en épocas de lluvia para redistribuir nutrientes y estabilizar aún más los montículos de las islas, debido a la mejora en la infiltración que la planta logra sobre su área circundante (Figura 155).

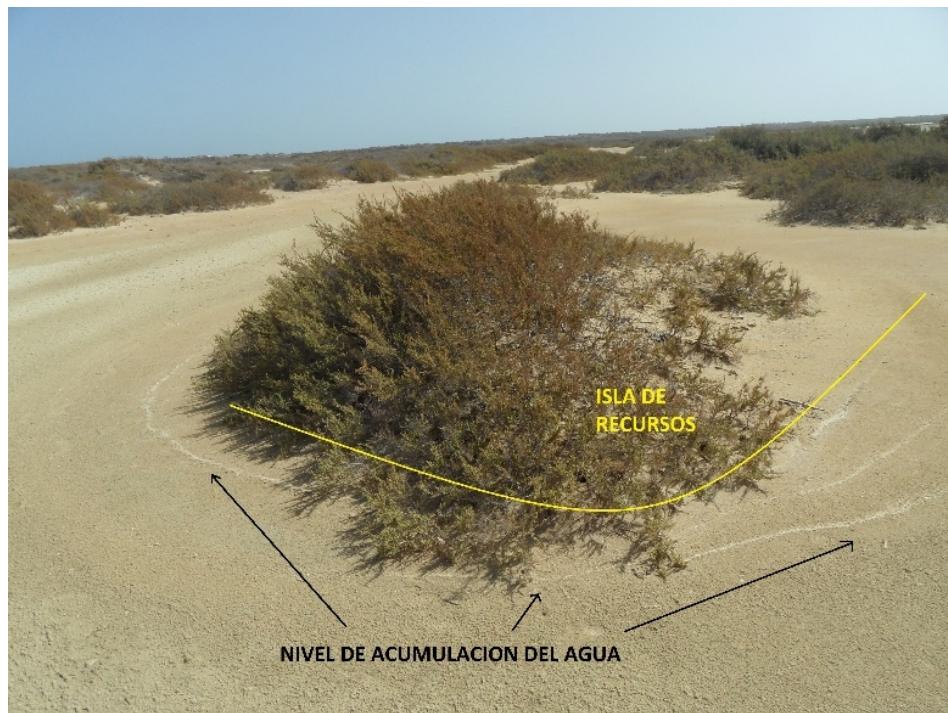


Figura 155. Efecto de la isla de fertilidad y la humedad topográfica.

4.7.5 Interacción de factores

En el desarrollo del patrón Leopard intervienen diversos factores (Figura 156) que se relacionan para generar los parches de vegetación. En el paisaje donde se ubicaron patrones en la Guajira las unidades de paisaje se caracterizaron por tener un déficit de precipitación la mayor parte del año (100 mm promedio), además de contar con un corto periodo de lluvias en el mes de octubre. Los suelos son arenosos y rocosos con un grado de pendiente ascendente baja (alrededor de 6%), estos suelos principalmente Aridisoles (Typic Haplocalcids, Typic Haplocambids) son pobres en nutrientes con horizontes petrocálcicos, pH alcalino y presencias de sales en superficie, se desarrollan sobre relieves planos sin muchos cambios en su orografía (playa, llanura costera y glacis) en donde ocurren procesos de depósito y erosión por acción eólica y aluvial. En estos paisajes se presentan plantas leñosas y herbáceas las cuales conforman las comunidades florísticas que integran el patrón Leopard. Estas especies vegetales conforman asociaciones entorno a los suelos arenosos (asociación *Heterostachys ritteriana* - *Sesuvium portulacastrum*) y los suelos arenoso – rocosos (Asociación *Castela erecta* - *Prosopis juliflora* - *Opuntia caracasana*) dichas asociaciones son susceptibles a la erosión eólica, hídrica y antrópica. La presión antrópica se manifiesta de dos formas, la primera con el aumento de la población humana y su posterior incremento en número y densidad de caminos, y de la infraestructura (Rancharías, corrales, jagueys); la segunda con el aumento de la población de animales (Cabras y ovejas) que someten la vegetación a la presión de un pastoreo sin control, lo que posteriormente reduce la vegetación, en conjunto con el efecto de compactación del suelo (por huella animal y antrópica), también eventualmente aumenta la presión en la vegetación cuando existe un período de sequía en la zona debido a la mayor necesidad de recursos. Finalmente, interactúa un factor muy importante, el viento, este en el área es

predominantemente fuerte a nivel general (10 metros de altura) y a un nivel de la vegetación se reduce a moderado siendo influenciado por la rugosidad de la vegetación; esa rugosidad es aprovechada por las plantas para disminuir la velocidad del viento reteniendo partículas de polvo y desarrollando islas de fertilidad. Estas islas son formadas por una planta individual o por un conjunto al acumular partículas por medio de sus ramas formando un montículo de arena o microduna. Esto logra incrementar los nutrientes en el suelo y al desarrollarse las raíces de las plantas aumentan la capacidad de infiltración. Durante la época de lluvias, las semillas (gramíneas y leñosas) atrapadas en la micro duna germinan debido al aumento de la humedad en la arena facilitando así su desarrollo al mejorar las condiciones locales. Dentro de las islas de fertilidad los valores de los macronutrientes son mayores que los de los suelos desnudos circundantes, así como, la infiltración en las islas es mayor debido a la presencia de las plantas. Durante la temporada de lluvias, la erosión hídrica redistribuye el material superficial y durante la estación seca, los suelos compactados y los espacios fragmentados que contienen sedimentos arenosos son eliminados por el viento dejando los suelos desnudos entre los parches de vegetación conformando así el patrón Leopard.

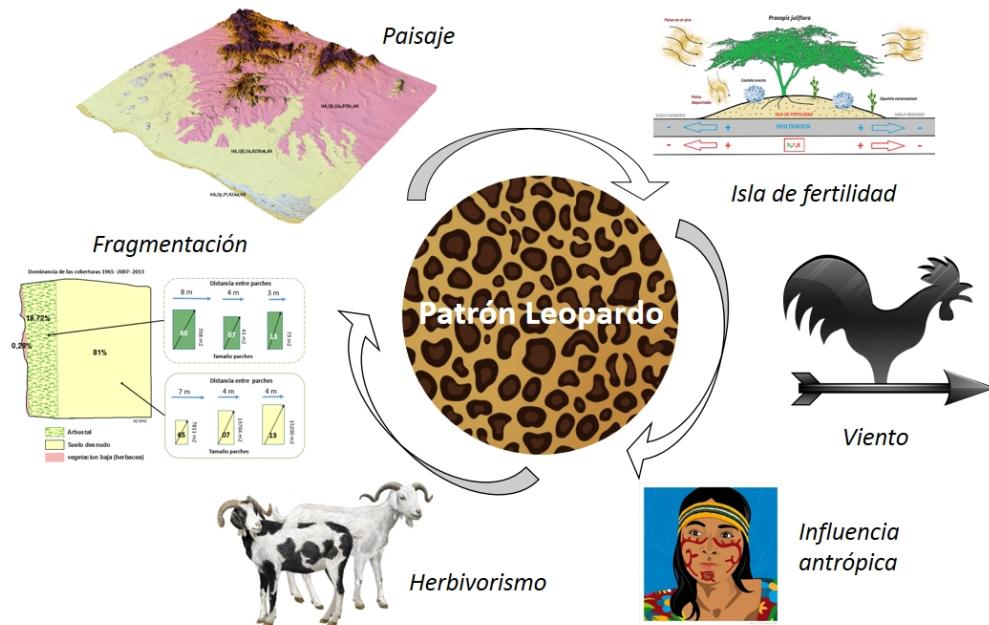


Figura 156. Esquema de la formación del patrón Leopardo en la Guajira.