

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.



**Dinámicas y causas de la deforestación en la región amazónica
de Colombia. El caso de estudio de Puerto Guzmán, Putumayo
(2010 - 2020)**

Oscar Hernando Eraso Terán



**Dinámicas y causas de la deforestación
en la región amazónica de Colombia. El
caso de estudio de Puerto Guzmán,
Putumayo (2010 - 2020)**

TESIS DOCTORAL:

Oscar Hernando Eraso Terán

Tutora y directora: Dra. Anna Badia Perpinyà
Directora: Dra. Meritxell Gisbert Traveria

Doctorado en Geografía
Departamento de Geografía
Universitat Autònoma de Barcelona
2023

RESUMEN

Esta tesis doctoral analiza la deforestación en el municipio de Puerto Guzmán, ubicado en la región amazónica de Colombia, una zona crítica dentro del "arco de la deforestación" donde las tasas de pérdida forestal son las más altas del país. El objetivo principal es analizar las dinámicas y las causas de esta deforestación en dos fases complementarias. La primera adopta un enfoque cartográfico a partir del uso de herramientas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se ha generado cartografía de coberturas del suelo a escala 1:25.000 para los años 2010 y 2020, utilizando técnicas de clasificación supervisada con los algoritmos Random Forest y k-NN en Google Earth Engine y MiraMon, respectivamente, lo que ha permitido realizar un análisis multitemporal del cambio de coberturas durante este periodo y evaluar la fragmentación. La segunda fase, caracteriza las causas y los agentes de la deforestación mediante una metodología cualitativa que incluye la revisión de fuentes bibliográficas y la recopilación de datos primarios. Se realizaron un total de 25 entrevistas semiestructuradas y 30 encuestas. Las entrevistas se realizaron para explorar la percepción de diferentes actores que participan en el área de estudio sobre las causas y agentes de la deforestación, apoyo institucional, educación como alternativa de solución y sustitución de cultivos ilícitos. Las encuestas se basaron en una metodología previamente establecida en Colombia para caracterizar las causas y agentes de la deforestación. Ambas fases se complementan: la primera muestra las consecuencias de la deforestación, mientras que la segunda revela las causas y los agentes responsables. El análisis de los resultados se ha estructurado en dos bloques principales que corresponden a las dos fases. Se destaca que la cobertura de bosque experimentó la mayor variación en el área de estudio durante el periodo de 2010 a 2020, con una disminución del 10,55% durante estos diez años. En cuanto a las causas, la información secundaria destaca como problema principal la alta pobreza multidimensional, mientras que el análisis de los datos primarios sugiere que los esfuerzos para detener la deforestación no están dando los resultados esperados. Esta investigación busca arrojar luz sobre las dinámicas y causas de la deforestación en la región y por qué las estrategias para combatirla han tenido un éxito limitado.

RESUM

Aquesta tesi doctoral analitza la desforestació al municipi de Puerto Guzmán, ubicat a la regió amazònica de Colòmbia, una zona crítica dins de l'"arc de la desforestació" on les taxes de pèrdua forestal són les més altes del país. L'objectiu principal és analitzar les dinàmiques i les causes d'aquesta desforestació en dues fases complementàries. La primera adopta un enfocament cartogràfic a partir de l'ús d'eines de teledetecció i sistemes d'informació geogràfica (SIG). S'ha generat cartografia de cobertes del sòl a escala 1:25.000 per als anys 2010 i 2020, utilitzant tècniques de classificació supervisada amb els algorismes Random Forest i k-NN a Google Earth Engine i MiraMon, respectivament, cosa que ha permès fer una anàlisi multitemporal del canvi de cobertes durant aquest període i avaluar-ne la fragmentació. La segona fase caracteritza les causes i els agents de la desforestació mitjançant una metodologia qualitativa que inclou la revisió de fonts bibliogràfiques i la recopilació de dades primàries. Es van fer un total de 25 entrevistes semiestructurades i 30 enquestes. Les entrevistes es van realitzar per explorar la percepció de diferents actors que participen a l'àrea d'estudi sobre les causes i els agents de la desforestació, el suport institucional, l'educació com a alternativa de solució i substitució de cultius il·lícits. Les enquestes es van basar en una metodologia prèviament establerta a Colòmbia per caracteritzar les causes i els agents de la desforestació. Totes dues fases es complementen: la primera mostra les conseqüències de la desforestació, mentre que la segona revela les causes i els agents responsables. L'anàlisi dels resultats ha estat estructurada en dos blocs principals que corresponen a les dues fases. Es destaca que la coberta de bosc va experimentar la variació més gran a l'àrea d'estudi durant el període del 2010 al 2020, amb una disminució del 10,55% durant aquests deu anys. Pel que fa a les causes, la informació secundària destaca com a principal problema l'alta pobresa multidimensional, mentre que l'anàlisi de les dades primàries suggereix que els esforços per aturar la desforestació no estan donant els resultats esperats. Aquesta investigació busca donar llum a les dinàmiques i causes de la desforestació a la regió i per què les estratègies per combatre-la han tingut un èxit limitat.

ABSTRACT

This doctoral thesis analyzes deforestation in the municipality of Puerto Guzmán, located in the Amazon region of Colombia, a critical area within the "deforestation arc" where forest loss rates are the highest in the country. The main objective is to analyze the dynamics and causes of this deforestation in two complementary phases. The first adopts a cartographic approach using remote sensing tools and Geographic Information Systems (GIS). Land cover mapping has been generated at a scale of 1:25,000 for the years 2010 and 2020, using supervised classification techniques with Random Forest and k-NN algorithms in Google Earth Engine and MiraMon, respectively, which has allowed a multi-temporal analysis of land cover change during this period and an assessment of fragmentation. The second phase characterizes the causes and agents of deforestation through a qualitative methodology that includes the review of bibliographic sources and the collection of primary data. A total of 25 semi-structured interviews and 30 surveys were conducted. The interviews were conducted to explore the insights of different actors involved in the study area on the causes and agents of deforestation, institutional support, education as a solution alternative and illicit crop substitution. The surveys were based on a methodology previously established in Colombia to characterize the causes and agents of deforestation. The two phases complement each other: the first shows the consequences of deforestation, while the second reveals the causes and agents responsible. The analysis of the results has been structured in two main blocks that correspond to the two phases. It is highlighted that forest cover experienced the most significant variation in the study area during the period from 2010 to 2020, with a decrease of 10.55% during these ten years. In terms of causes, secondary information emphasizes high multidimensional poverty as the main problem, while analysis of primary data suggests that efforts to halt deforestation are not yielding the expected results. This research seeks to shed light on the dynamics and causes of deforestation in the region and why strategies to oppose it have had limited success.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido desarrollada gracias a la invaluable contribución y respaldo de diversos esfuerzos y apoyos. Su realización fue posible gracias a la guía proporcionada por mis directoras, Anna Badia y Meritxell Gisbert, profesoras del Departamento de Geografía de la Universitat Autònoma de Barcelona. A lo largo de todo el proceso de investigación, ellas no solo compartieron sus conocimientos, sino que también brindaron orientación, facilitaron información, ofrecieron sugerencias, apoyaron, escucharon y me acompañaron. Su orientación y motivación resultaron ser pilares fundamentales para alcanzar exitosamente esta meta. Cabe destacar la sugerencia de Anna y Meritxell de incluir el componente humano a través de una caracterización cualitativa a la investigación, una idea que demostró ser sumamente acertada y marcó un punto de inflexión.

Expreso mi gratitud al Departamento de Geografía de la Universitat Autònoma de Barcelona por brindarme la oportunidad de crecer académicamente y haberme abierto sus puertas para realizar el Máster Universitario en Geoinformación en el año 2018 e iniciar con el Doctorado en Geografía en octubre de 2019. Especialmente, agradezco a Meritxell Gisbert quien fue el primer contacto que tuve con la universidad y siempre estuvo atenta para guiarme, también estoy sumamente agradecido con Anna Badia por estar siempre pendiente de mi bienestar durante mi permanencia en Barcelona. Esta experiencia estuvo llena de emociones y aprendizajes, recuerdo con nostalgia mis primeros días en Barcelona, que estaba confundido por el cambio de horario y no me sentía seguro con el transporte público por miedo a perderme, todavía no era consciente que estaba iniciando una de las experiencias más enriquecedoras de mi vida, que me permitiría conocer lugares y personas magníficas.

Agradezco a Xavier Pons por brindarme sesiones de asesoría en el procesamiento de imágenes satelitales. Fue un privilegio contar con estos espacios, sin duda es un referente en teledetección. Sus recomendaciones, sugerencias y artículos que me compartió, permitieron comprender aspectos técnicos sobre el procesamiento de imágenes satelitales. En el ámbito Institucional, agradezco a CORPOAMAZONIA, máxima autoridad ambiental a nivel regional, encargada de preservar la cantidad y calidad de los recursos naturales de la Amazonía Colombiana. Formar parte del equipo de profesionales de Sistemas de Información Geográfica (SIG) responsables de la actividad de monitoreo, durante los dos primeros años de esta investigación fue enriquecedor debido a que compartí experiencias con profesionales excelentes que me brindaron sugerencias valiosas a lo largo de la investigación.

Expreso mi gratitud a la psicóloga Zuleyma Quintero, cuya destreza en la realización de caracterizaciones sociales y su origen en la zona rural del municipio de Puerto Guzmán resultaron fundamentales para acceder al área de estudio.

Asimismo, agradezco la generosidad de la Comunidad de Puerto Guzmán por su disposición a participar en la caracterización de las causas de deforestación.

Agradezco a los profesionales de las diferentes instituciones y ONG que compartieron sus experiencias derivadas de años de trabajo, permitiéndome obtener perspectivas valiosas sobre la deforestación.

Agradezco el apoyo a Suann Rincón profesional forestal, las charlas que tuvimos fueron esenciales para entender las dinámicas de la deforestación.

Reservo un agradecimiento especial para mi padre, Hernando Eraso, Ingeniero Forestal, su experiencia y relacionamiento resultaron fundamentales para la realización de las actividades.

Agradezco a Milena Rivas por su tiempo, paciencia y motivación en este último año de investigación.

Para finalizar agradezco a mi madre, Mariana Terán, a mis hermanas, Luisa María, Carla Salomé y Diana Marisol, así como a Miriam López, esposa de mi padre, por depositar su confianza en mí, brindarme su apoyo y mantenerme motivado. Rindo homenaje a mis abuelos, quienes, aunque ya no están, sé que me han acompañado en este camino. Doy gracias a Dios por su constante guía y apoyo a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y, sobre todo, felicidad.

OSCAR HERNANDO ERASO TERÁN

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS	9
1.3 OBJETIVOS.....	10
1.4 ESTRUCTURA DE LA TESIS	11
CAPITULO 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	17
2.1 COBERTURA Y USO DEL SUELO.....	18
2.2 COBERTURA BOSCOSA, DEFORESTACIÓN Y FRAGMENTACIÓN	20
2.2.1 Entender qué es el bosque para comprender el impacto de su pérdida	21
2.2.2 Deforestación.....	25
2.2.3 La fragmentación	28
2.3 IMPULSORES (DRIVERS) DE LA DEFORESTACIÓN	32
2.3.1 Monitoreo forestal y detección de impulsores (drivers).....	34
2.3.2 Las causas y los agentes de la deforestación en el orden nacional de Colombia	36
2.3.3 Esfuerzos del estado Colombiano para combatir a los impulsores de la deforestación	
40	
2.4 MÉTODOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS COBERTURAS Y DETECCIÓN DE CAMBIOS	50
2.4.1 Detección de los cambios de coberturas del suelo	50
2.4.2 La teledetección como método de detección de cambios de coberturas.....	51
2.4.3 Sensores usados	55
2.4.4 Tipos de clasificación de imágenes satelitales	61
2.4.5 Metodología en Colombia para detectar deforestación.....	64
CAPITULO 3. CONTEXTO DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	69
3.1 ASPECTOS BIOFÍSICOS	74
3.1.1 Fisiografía	75
3.1.2 Coberturas del suelo.....	80
3.1.3 Deforestación en el municipio de Puerto Guzmán	84
3.2 CONTEXTO HUMANO.....	86
3.2.1 Análisis demográfico y sociocultural	87
3.2.2 Dinámicas productivas.....	94
3.2.3 Contexto del conflicto armado.....	110

CAPITULO 4. METODOLOGÍA	119
4.1 ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE COBERTURA DEL SUELO	121
4.1.1 Generación de coberturas del suelo a partir de una clasificación supervisada utilizando el algoritmo Random Forest	122
4.1.2 Generación de coberturas del suelo a partir de una clasificación supervisada utilizando el algoritmo k-NN	147
4.1.3 Ajuste y mejora de las coberturas identificadas	162
4.1.4 Análisis multitemporal de cambio de coberturas.....	165
4.1.5 Aplicación de la metodología de Steenmans & Pinborg (2000) en el análisis de la fragmentación.....	166
4.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS CAUSAS Y LOS AGENTES DEL CAMBIO DE COBERTURA FORESTAL.....	172
4.2.1 Selección de la muestra y procedimiento de muestreo.....	172
4.2.2 Identificación de las causas y los agentes del cambio de cobertura forestal	179
4.2.3 Proceso de contraste de causas de la problemática.....	186
CAPITULO 5. RESULTADOS.....	195
5.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS DINÁMICAS TERRITORIALES (2010 - 2020)	195
5.1.1 La clasificación supervisada y tipos de cobertura	195
5.1.2 Mapas de coberturas, análisis multitemporal de cambios y fragmentación	218
5.2 CAUSAS DE LA DEFORESTACIÓN	241
5.2.1 La voz de los entrevistados	243
5.2.2 La caracterización de las familias y la identificación de las causas productivas.....	272
5.2.3 Contraste entre la información primaria y la secundaria de las causas y la problemática de la deforestación	279
CAPITULO 6. CONCLUSIONES.....	287
6.1 RESPUESTA A LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN Y A LAS HIPÓTESIS	287
6.2 CONDICIONES FÍSICAS, SOCIALES Y ECONÓMICAS DE LA AMAZONÍA COLOMBIANA: EL PEOR ENEMIGO DE LA NATURALEZA ES LA NECESIDAD QUE EMANA DE LA POBREZA	289
6.3 LA DESAPARICIÓN PROGRESIVA DEL BOSQUE AMAZÓNICO: CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CAMBIO DE COBERTURAS.....	292
6.4 LA FRAGMENTACIÓN ESTÁ LLEGANDO A PUNTOS DE NO RETORNO: LA PÉRDIDA DE LA CAPACIDAD DE OFRECER SOPORTE AMBIENTAL	294
6.5 LA INCOMPATIBILIDAD DE LAS DINÁMICAS PRODUCTIVAS CON EL BOSQUE HÚMEDO TROPICAL AMAZÓNICO	295

6.6 PERCEPCIÓN DE LOS ACTORES SOBRE LAS CAUSAS Y LAS ESTRATEGIAS PARA DISMINUIR LA DEFORESTACIÓN: ¿POR QUÉ NO HAN FUNCIONADO?	297
6.7 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN Y RECOMENDACIONES	300
BIBLIOGRAFÍA.....	303
ANEXOS.....	337

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción de las clases de estratificación de los bosques	24
Tabla 2: Causas directas: expansión de la frontera agropecuaria.....	38
Tabla 3: Causas directas: extracción de madera	39
Tabla 4: Causas directas: factores biofísicos	39
Tabla 5: Agentes de expansión de la frontera agrícola	39
Tabla 6: Agentes de expansión de la frontera pecuaria	40
Tabla 7: Agentes en la extracción de madera	40
Tabla 8: Satélites de observación de la tierra.....	52
Tabla 9: Periodo activo y resolución espacial de cada misión Landsat.....	56
Tabla 10: Lista de bandas de Landsat-8.....	56
Tabla 11: Lista de bandas de Sentinel-2	58
Tabla 12: Lista de bandas de Planet Scope PS2	60
Tabla 13: Lista de bandas de RapidEye	60
Tabla 14: Listado de veredas seleccionadas y la cabecera municipal del municipio de Puerto Guzmán.....	73
Tabla 15: Geomorfología Área de Estudio.....	76
Tabla 16: Edafología del área de estudio	77
Tabla 17: Áreas de las subzonas hidrográficas	79
Tabla 18: Extensión de las subzonas hidrográfica de Puerto Guzmán y del Área de Estudio	79
Tabla 19: Cobertura del suelo del Municipio de Puerto Guzmán.....	81
Tabla 20: Cobertura del suelo del Área de estudio	81
Tabla 21: Condición de las Cobertura del suelo del Municipio de Puerto Guzmán.....	82
Tabla 22: Condición de la cobertura año 2020 del Área de Estudio.....	83
Tabla 23: Porcentaje de omisión censal 2018	87
Tabla 24: Población departamental y municipal	88
Tabla 25: Población del municipio de Puerto Guzmán (por grandes grupos de edad), 2021	89
Tabla 26: Población de Puerto Guzmán en la cabecera municipal y los centros poblados y rural disperso 2021	89
Tabla 27: Porcentaje de escolarización del municipio de Puerto Guzmán	90
Tabla 28: Consejos comunitarios de comunidades negras en el municipio de Puerto Guzmán	93
Tabla 29: Caracterización de sistemas productivos - Puerto Guzmán	95
Tabla 30: Tipo de sistema productivo según la extensión del predio	96
Tabla 31: Puerto Guzmán: población y fincas bovinas, 2020	104

Tabla 32: Rangos de tamaño predial Putumayo en contraste área de estudio	105
Tabla 33: Número de predios por rango de extensión y total de ha en el área de estudio	106
Tabla 34: Índices espectrales.....	131
Tabla 35: Variables de clasificación parte 1	133
Tabla 36: Listado de coberturas identificadas a través de la clasificación supervisada..	139
Tabla 37: Variables de clasificación para el año 2020	153
Tabla 38: Bandas espectrales que tienen en común Sentinel-2 y RapidEye y el índice espectral NDVI.....	156
Tabla 39: Variables de clasificación para el año 2010	160
Tabla 40: Coberturas finales fruto de la reclasificación por medio de fotointerpretación de las clases identificadas a partir de información espectral	163
Tabla 41: Listado final de coberturas identificadas en 2010 y 2020	164
Tabla 42: Cambio en la cobertura del área de estudio años 2010 a 2020	165
Tabla 43: Categorías del índice de fragmentación.....	169
Tabla 44: Resultados validación clasificación supervisada año 2020 usando bandas e índices espectrales.....	204
Tabla 45: Resultados de la validación de la clasificación supervisada del año 2020 usando solo las bandas como variables de clasificación	205
Tabla 46: Porcentajes de incertidumbre de la clasificación supervisada del año 2020 con bandas e índices espectrales.....	208
Tabla 47: Resultado regresión lineal múltiple con variable dependiente la B11 (SWIR) e independientes B2, B3, B4, B5, B8 y NDVI	209
Tabla 48: Resultado de la regresión lineal múltiple usando como variable dependiente la B11 (SWIR) y como variables independientes las bandas B2, B3, B4, B5, B8	210
Tabla 49: Resultados de la validación de la clasificación supervisada del año 2010 usando como variables de clasificación las bandas propias del sensor RapidEye (B, G, R, RE, NIR), el índice NDVI, la banda sintética SWIR y los índices NDWI y NDBI	211
Tabla 50: Resultados de la validación de la clasificación supervisada del año 2010 usando como variables de clasificación solo las bandas propias del sensor RapidEye (B, G, R, RE, NIR) y el índice NDVI	212
Tabla 51: Porcentajes de la incertidumbre de la clasificación supervisada del año 2010 usando como variables de clasificación las bandas propias del sensor RapidEye (B, G, R, RE, NIR), el índice NDVI, la banda sintética SWIR y los índices NDWI y NDBI	214
Tabla 52: Frecuencia coberturas 2010	219
Tabla 53: Frecuencia coberturas 2020	220
Tabla 54: Cambios de cobertura en ha.....	221
Tabla 55: Matriz de cambio de coberturas.....	224
Tabla 56: Categorías de cambio de coberturas 2010 – 2020	230
Tabla 57: Rangos extensión predial.....	276

Tabla 58: Datos prediales área de estudio en contraste datos encuestados	277
Tabla 59: Recomendaciones de la comunidad a las entidades que financian proyectos para disminuir la deforestación.....	278
Tabla 60: Problemática según información secundaria.....	280
Tabla 61: Problemática según encuestas y entrevistas	282

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Identificación de la situación problemática.....	17
Ilustración 2: Definición de bosque natural en Colombia	22
Ilustración 3: Criterios del IDEAM para la clasificación de los bosques	23
Ilustración 4: Estratificación de los bosques por densidad y altura del dosel.....	24
Ilustración 5: Transiciones entre las clases de fragmentación.....	31
Ilustración 6: Impulsores o drivers de la deforestación del Amazonas	33
Ilustración 7: Método de evaluación de los “drivers” de la deforestación	36
Ilustración 8: Cadena de eventos de la deforestación.....	37
Ilustración 9: Agentes y lista de causas directas y subyacentes de la deforestación en Colombia.....	37
Ilustración 10: Proceso sancionatorio ambiental	48
Ilustración 11: Etapas estudio detección de cambios.....	54
Ilustración 12: Ubicación del área de estudio	70
Ilustración 13: Arco deforestación de la Amazonía Colombiana.....	71
Ilustración 14: Arco de la Deforestación Amazonía Colombiana 2020	72
Ilustración 15: Área de estudio y ubicación cabecera municipal.....	73
Ilustración 16: Temperatura Media Anual	74
Ilustración 17: Mapa de precipitación media anual	75
Ilustración 18: Geomorfología área de estudio	76
Ilustración 19: Mapa de Edafología del área de estudio	78
Ilustración 20: Río Caquetá	79
Ilustración 21: Subzonas hidrográficas y ríos del área de estudio	80
Ilustración 22: Condición de la cobertura del suelo	82
Ilustración 23: Áreas transformadas a escala 1:100.000 para el año 2020 del área de estudio	83
Ilustración 24: Ejemplo de vegetación de borde, vía terciaria de Puerto Guzmán	84
Ilustración 25: Ubicación área de estudio respecto a zonas de alta deforestación	85
Ilustración 26: Área deforestada al lado del río	85
Ilustración 27: Vivienda típica del área de estudio	86
Ilustración 28: Pirámide poblacional de Puerto Guzmán, 2021	88
Ilustración 29: Porcentaje de escolarización del municipio de Puerto Guzmán	90
Ilustración 30: Grupos étnicos de la población del municipio de Puerto Guzmán	91
Ilustración 31: Resguardos indígenas de Puerto Guzmán	92
Ilustración 32: Dimensiones e indicadores utilizados para la medición del IPM-C, 2020..	94
Ilustración 33: Cronicidad de los cultivos de la coca	97

Ilustración 34: Densidad del cultivo de la coca.....	98
Ilustración 35: Distribución regional según la permanencia de la coca	99
Ilustración 36: Cultivos permanentes y transitorios de Puerto Guzmán 2021	100
Ilustración 37: Barcaza que moviliza pasajeros, abarrotes, insumos agropecuarios, combustibles en el río Caquetá.....	100
Ilustración 38: Vías del área de estudio diferenciadas por actores involucrados en su apertura.....	102
Ilustración 39: Movilización de ganado por el río Caquetá.....	103
Ilustración 40: Puerto Guzmán: fincas bovinas, 2020	104
Ilustración 41: Mapa predial área de estudio.....	106
Ilustración 42: Relacionamiento del contexto del área de estudio	114
Ilustración 43: Esquema de alternativas de solución	120
Ilustración 44: Flujo metodológico general	121
Ilustración 45: Esquema secuencial para la obtención de la cobertura según Corine Land Cover	124
Ilustración 46: Parámetros de búsqueda de ubicación, fecha y sensor de las imágenes en Planet Explorer	125
Ilustración 47: Resultado de búsqueda de imágenes PlanetScope	125
Ilustración 48: Selección de las imágenes PlanetScope a descargar.....	126
Ilustración 49: Niveles de preprocesamiento	126
Ilustración 50: Carga de la imagen PlanetScope a GEE	127
Ilustración 51: Creación de la variable del área de estudio dentro de GEE	127
Ilustración 52: Búsqueda de las imágenes dentro de la colección Sentinel-2 Level-2A..	128
Ilustración 53: Resultado del mosaico de imágenes Sentinel-2.....	128
Ilustración 54: Búsqueda de la imagen dentro de la colección USGS Landsat-8 Level 2, Collection 2, Tier 1	129
Ilustración 55: Búsqueda de la imagen dentro de la colección Sentinel-1 SAR GRD: C-band Synthetic Aperture Radar Ground Range Detected, log scaling	130
Ilustración 56: Generación de índices espectrales en GEE para el año 2020	132
Ilustración 57: Lista de bandas e índices del subconjunto 1 de las variables de entrada del clasificador Random Forest para el año 2020	134
Ilustración 58: Lista de bandas e índices del subconjunto 2 de las variables de entrada del clasificador Random Forest para el año 2020	135
Ilustración 59: Lista de bandas e índices del subconjunto 3 de las variables de entrada del clasificador Random Forest para el año 2020	136
Ilustración 60: Lista de bandas e índices del subconjunto 4 de las variables de entrada del clasificador Random Forest para el año 2020	136
Ilustración 61: Lista de bandas e índices del subconjunto 5 de las variables de entrada del clasificador Random Forest para el año 2020	137

Ilustración 62: Lista de bandas e índices del subconjunto 6 de las variables de entrada del clasificador Random Forest para el año 2020	137
Ilustración 63: Lista de bandas e índices del subconjunto 7 de las variables de entrada del clasificador Random Forest para el año 2020	138
Ilustración 64: Gráfico de valores de variables clasificadoras para un píxel	138
Ilustración 65: Píxeles de entrenamiento y validación del año 2020.	139
Ilustración 66: Resultado de la clasificación supervisada usando el algoritmo Random Forest.....	140
Ilustración 67: Parámetros de búsqueda de ubicación y sensor de las imágenes en Planet Explorer.....	141
Ilustración 68: Parámetros de búsqueda de fecha de las imágenes en Planet Explorer 141	
Ilustración 69: Resultado de búsqueda de imágenes RapidEye.....	142
Ilustración 70: Selección de las imágenes RapidEye a descargar	142
Ilustración 71: Filtros de preprocesamiento	143
Ilustración 72: Carga de la imagen RapidEye a GEE	143
Ilustración 73: Lista de bandas e índices de las variables de entrada del clasificador Random Forest para el año 2010	144
Ilustración 74: píxeles de entrenamiento y validación del año 2010.....	144
Ilustración 75: Resultado de la clasificación supervisada usando el algoritmo Random Forest.....	145
Ilustración 76: Flujo metodológico obtención cartografía cobertura años 2010 y 2020 y validación de la precisión	149
Ilustración 77: Parámetros de búsqueda de ubicación de las imágenes en Copernicus Open Access Hub.....	150
Ilustración 78: Parámetros de búsqueda de fecha y parámetros del sensor Copernicus Open Access Hub.....	150
Ilustración 79: Resultado de búsqueda de imágenes Sentinel-2 MSI - Level-2A Product	151
Ilustración 80: Cálculo de índices espectrales y escalado de sus valores	153
Ilustración 81: Lista de bandas e índices del subconjunto 1 de las variables de entrada del clasificador (k-NN) para el año 2020.....	154
Ilustración 82: Lista de bandas e índices del subconjunto 2 de las variables de entrada del clasificador (k-NN) para el año 2020.....	154
Ilustración 83: Clasificación k-NN año 2020	155
Ilustración 84: Cambio de tamaño de píxel en ráster (múltiplos)	156
Ilustración 85: Creación de un fichero PNT a partir de imágenes	157
Ilustración 86: Comparación de las dos correlaciones lineales.....	158
Ilustración 87: Regresión lineal múltiple	159
Ilustración 88: Lista de bandas e índices del subconjunto 1 de las variables de entrada del clasificador (k-NN) para el año 2010.....	160

Ilustración 89: Lista de bandas e índices del subconjunto 2 de las variables de entrada del clasificador (k-NN) para el año 2010.....	161
Ilustración 90: Clasificación k-NN año 2010	161
Ilustración 91: Celdas y celdillas	167
Ilustración 92: Celdas sensibles en contraste no sensibles	168
Ilustración 93: Celdillas de 250 m sensible en contraste no sensible de la celda 78	169
Ilustración 94: Celda 26.....	170
Ilustración 95: Dimensión de la organización social.....	177
Ilustración 96: Visión del bosque de los agentes de la deforestación.....	178
Ilustración 97: Dimensión económica	179
Ilustración 98: Esquema metodología de la causalidad	180
Ilustración 99: Accediendo a la zona de estudio con la psicóloga	181
Ilustración 100: Explicación a miembro de la comunidad.....	184
Ilustración 101: Evidencias encuestas miembros área de estudio	185
Ilustración 102: Dirección de diligenciamiento matriz Vester	188
Ilustración 103: Opciones de causalidad Matriz de Vester	189
Ilustración 104: Asignación de valoración de causalidad	190
Ilustración 105: Paso de matriz de Vester al árbol de problemas	191
Ilustración 106: Clasificaciones supervisadas 2010 – 2020 (b=bandas espectrales / i = índices espectrales).....	196
Ilustración 107: Matriz de Confusión, precisión general y coeficiente Kappa.....	198
Ilustración 108: Resultados de las clasificaciones supervisadas para el año 2020	199
Ilustración 109: Clasificación supervisada de RapidEye con 6 variables de clasificación	202
Ilustración 110: Resultado visual de la clasificación supervisada del año 2020 usando bandas e índices espectrales.....	206
Ilustración 111: Incertidumbre de la clasificación supervisada del año 2020 con bandas e índices espectrales.....	207
Ilustración 112: Coeficiente de determinación de las 2 regresiones lineales múltiples ...	208
Ilustración 113: Resultado regresión lineal múltiple con variable dependiente la B11 (SWIR) e independientes B2, B3, B4, B5, B8 y NDVI	209
Ilustración 114: Resultado de la regresión lineal múltiple usando como variable dependiente la B11 (SWIR) y como variables independientes las bandas B2, B3, B4, B5, B8	210
Ilustración 115: Resultado visual de la clasificación supervisada del año 2010 usando como variables de clasificación las bandas propias del sensor RapidEye (B, G, R, RE, NIR), el índice NDVI, la banda sintética SWIR y los índices NDWI y NDBI.....	213
Ilustración 116: Incertidumbre de la clasificación supervisada del año 2010 usando como variables de clasificación las bandas propias del sensor RapidEye (B, G, R, RE, NIR), el índice NDVI, la banda sintética SWIR y los índices NDWI y NDBI.....	214

Ilustración 117: Clasificaciones supervisadas aplicadas a imágenes Año 2020	216
Ilustración 118: Clasificaciones supervisadas aplicadas a imágenes Año 2010	217
Ilustración 119: Mapa de coberturas 2010 escala 1:25.000.....	218
Ilustración 120: Mapa de coberturas 2020 escala 1:25.000.....	220
Ilustración 121: Zona urbana y arenales.....	222
Ilustración 122: Estanques de piscicultura.....	222
Ilustración 123: Cobertura pastos - bosque – vegetación secundaria	223
Ilustración 124: Coberturas en las que se transformó el bosque	225
Ilustración 125: Bosques	225
Ilustración 126: Coberturas en las que se transformó el Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales.....	226
Ilustración 127: Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales 1	226
Ilustración 128: Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales 2	227
Ilustración 129: Vegetación secundaria o en transición	227
Ilustración 130: Coberturas previas a la de Vegetación secundaria o en transición	228
Ilustración 131: Coberturas previas a la de Pastos limpios (2020)	228
Ilustración 132: Coberturas a las que migraron los pastos del 2010	229
Ilustración 133: Pastos	229
Ilustración 134: Principales tipos de cambio de cobertura	231
Ilustración 135: Mapa de las categorías de cambios de coberturas 2010 – 2020.....	232
Ilustración 136: Mapa del índice de fragmentación 2010	234
Ilustración 137: Categorías del índices de fragmentación área de estudio año 2010	234
Ilustración 138: Mapa del índice de fragmentación 2020	235
Ilustración 139: Categorías del índices de fragmentación área de estudio año 2020	235
Ilustración 140: Comparación visual de los mapas de fragmentación 2010 - 2020	236
Ilustración 141: Comparación de las categorías del índices de fragmentación área de estudio año 2010 - 2020.....	236
Ilustración 142: Fragmentación del año 2020 con densidad del cultivo de la coca.....	238
Ilustración 143: Esquema que resume los resultados de la identificación de causas y dinámicas asociadas a la deforestación	242
Ilustración 144: Área de ganadería extensiva (al fondo)	244
Ilustración 145: Relaciones de que se dan alrededor de las causas de la deforestación	247
Ilustración 146: Pérdida de la copa en palmas por el glifosato (0° 28' 33,6" N, 76° 25' 51,6" W).....	252
Ilustración 147: Pérdida de la copa en palmas por el glifosato (0° 28' 33,6" N, 76° 25' 51,6" W).....	253

Ilustración 148: Pérdida de la copa en palmas por el glifosato (0° 28' 33,6" N, 76° 25' 51,6" W).....	253
Ilustración 149: Toma de RPAS de cultivos ilícitos en el área de estudio	254
Ilustración 150: Relaciones que se dan entre los agentes relacionados con los cambios de cobertura.....	255
Ilustración 151: Tala de árbol para hacer un puente, nótese el elevado nivel de desperdicio	256
Ilustración 152: Tala de bosque para hacer la apertura de un camino	256
Ilustración 153: Evidencia de potrerización	257
Ilustración 154: Evidencia de potrerización	258
Ilustración 155: Evidencia de potrerización	258
Ilustración 156: Áreas en pastizal sin uso ganadero	259
Ilustración 157: Vía típica del área de estudio	261
Ilustración 158: Relaciones presentes en el apoyo institucional	263
Ilustración 159: Relaciones que se dan en el concepto de educación	266
Ilustración 160: Relaciones de las iniciativas de sustitución	270
Ilustración 161: Ubicación de las encuestas	273
Ilustración 162: Zonas restringidas en acceso por condiciones de inseguridad.....	275
Ilustración 163: Matriz de Vester información secundaria.....	281
Ilustración 164: Matriz de Vester información secundaria.....	281
Ilustración 165: Matriz de Vester encuestas y entrevistas	283
Ilustración 166: Árbol de problemas encuestas y entrevistas	283

ÍNDICE DE ANEXOS

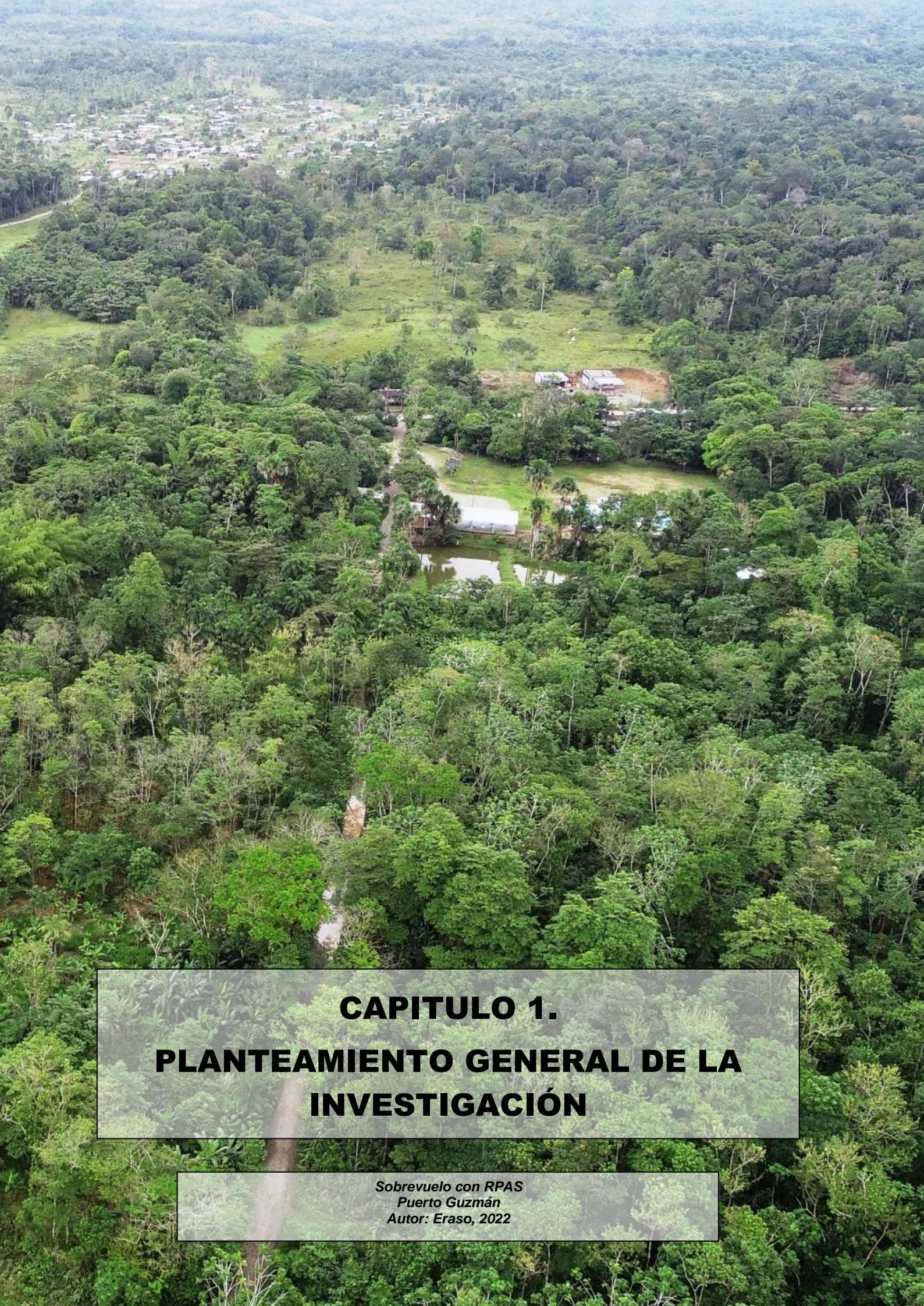
Anexo 1: Proceso penal en Colombia (Ley 906 de 2004)	337
Anexo 2: Entidades competentes y apoyo en los procesos judiciales contra la deforestación	338
Anexo 3: Actualización de variables climáticas para el periodo de estudio: Temperatura y precipitación.....	341
Anexo 4: Lista de variables de entrada de la clasificación 1: 55 (Landsat-8, Sentinel-2, PlanetScope, Sentinel-1 + Índices Espectrales).....	343
Anexo 5: Lista de variables de entrada de la clasificación 2: 36 (Sentinel-2, PlanetScope, Sentinel-1 + Índices Espectrales)	344
Anexo 6: Lista de variables de entrada de la clasificación 3: 10 (Sentinel-2 solo Bandas Espectrales).....	345
Anexo 7: Lista de variables de entrada de la clasificación 4: 19 (Landsat-8 + Índices Espectrales).....	346
Anexo 8: Lista de variables de entrada de la clasificación 5: 11 (PlanetScope + Índices Espectrales).....	347
Anexo 9: Lista de variables de entrada de la clasificación 6: 2 (Sentinel-1: VV, VH).....	347
Anexo 10: Lista de variables de entrada de la clasificación 7: 23 (Sentinel-2 + Índices Espectrales).....	348
Anexo 11: Tabla del índice de Fragmentación 2010 Área de Estudio	349
Anexo 12: Tabla del índice de Fragmentación 2020	352
Anexo 13: Lista de preguntas de la encuesta.....	355
Anexo 14: Capturas de KoboToolbox del cuestionario de la encuesta	357
Anexo 15: Guion de la entrevista.....	365
Anexo 16: Entrevistas cargadas en ATLAS.ti	366
Anexo 17: Unidades de coberturas de la tierra para la leyenda nacional, escala 1:100.000, de acuerdo con la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia	370

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
ADR	Agencia de Desarrollo Rural
ANH	Agencia Nacional de Hidrocarburos
ANN	Redes neuronales artificiales
ATD	Alertas Tempranas de Deforestación
B	Blue
BRT	Boosted Regresión Trees
C/N	carbono/nitrógeno
CDS	conjunto de datos controlados
CEIR	Centro de Estudios e Investigaciones Rurales
CICOD	Comisión Intersectorial para el Control de la Deforestación y la Gestión Integral para la Protección de Bosques Naturales
CLOPAD	Comités Locales de Atención y Prevención de Desastres
CMDR	Consejos Municipales de Desarrollo Rural
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNMH	Centro Nacional de Memoria Histórica
CNPV	Censo Nacional de Población y Vivienda
CO ₂	Dióxido de carbono
CONALDEF	Consejo Nacional de Lucha Contra la Deforestación
COP19	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático
CORPOAMAZONIA	Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DAP	Diámetro a la Altura del Pecho
DCI	Declaración Conjunta de Intención
DNP	Departamento Nacional de Planeación
DT	Árboles de decisión
ECV	Encuesta Nacional de Calidad de Vida
EICDGB	Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques
ELN	Ejército de Liberación Nacional
EO	Observación de la Tierra
ESA	European Space Agency
ETH	Estrategia Territorial para la Gestión Sostenible y Equitativa del Sector Hidrocarburos
EVOA	Explotación de oro de aluvión
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FARC	Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia
G	Green
GAO	Grupos Armados Organizados
GEE	Google Earth Engine
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GEI	Gases Efecto Invernadero
GIF	Grandes incendios forestales
GLM	Modelos Lineales

Abreviatura	Significado
GRD	Ground Range Detected
ha	Hectáreas
hotspots	Puntos Críticos
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IPM-C	Índice de Pobreza Multidimensional de Colombia
JAC	Juntas de Acción Comunal
km	kilómetros
k-NN	k-nearest neighbors
LCLU	Land Use Land Cover
LULCC	Land Use Land Cover Change
m	metros
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
MINAGRICULTURA	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
MINAMBIENTE	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
NAD	Núcleos de Alta Deforestación
NDBI	Normalized Difference Built-up Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI-Chen	Normalized Difference Water Index Chen, Huang, Jackson
NICFI	Norway's International Climate and Forest Initiative
NIR	Near Infrared
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONG	Organizaciones No Gubernamentales
ONIC	Organización Nacional Indígena de Colombia
PDET	Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial
PFNM	Productos Forestales No Maderables
PG	Precisión general
PIB	Producto Interno Bruto
PIVAC	Pacto Intergeneracional por la Vida de la Amazonía Colombiana
PNIS	Programa Nacional Integral de Sustitución de Cultivos Ilícitos
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
POMCA	Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas
R	Red
RDS	conjunto de datos de referencia
RE	Red Edge
REDD+	Reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación de los bosques
RF	Random Forest
RNA	Redes Neuronales Artificiales
SAR	Radar de apertura sintética
SES	Sistemas Socioambientales

Abreviatura	Significado
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SIIMA	Sistema Integrado de Información y Monitoreo Antinarcóticos
SINCHI	Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas
SIPRA	Sistema de Información de Planificación Rural
SMByC	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono
SNIA	Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria
SNUIRA	Estrategia del Sistema Nacional Unificado de Información Agropecuario
SR	Surface Reflectance
SVM	Máquina de Soporte Vectoriales Support Vector Machine
SWIR	Shortwave Infrared
IUCN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
UMATA	Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UNODC	Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito
UPRA	Unidad de Planificación Rural Agropecuaria
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
USGS	United States Geological Survey
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical



CAPITULO 1.

PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

*Sobrevuelo con RPAS
Puerto Guzmán
Autor: Eraso, 2022*

CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

La visión de desarrollo en Colombia está orientada por los principios del desarrollo sostenible; muestra de este compromiso estatal es la conformación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y las corporaciones autónomas regionales, siendo la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía (CORPOAMAZONIA) una de estas. Cumpliendo su objetivo misional, esta se acogió a la Agenda de Desarrollo Global hacia el año 2030, a través del cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), debido a que estos buscan un equilibrio entre las dimensiones económica, social y ambiental (Conpes, 2018).

Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP), Colombia, buscando cumplir con los ODS, desarrolló una serie de políticas, planes y proyectos a nivel estatal para avanzar en las metas trazadas dentro de la estrategia para su implementación (DNP, 2018, citado en Otero & Piniero, 2019). La presente investigación se enmarca en el ODS número 15, que busca “gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, y detener la pérdida de biodiversidad” (Otero & Piniero, 2019, p. 94).

Este objetivo tiene como trasfondo la pérdida de más de 420 millones de hectáreas (ha) de bosques en todo el mundo en las décadas de 1990–2020 debido a la deforestación, y más del 90% de esa pérdida tuvo lugar en áreas tropicales (FAO, 2020). Estos niveles de deforestación tropical a gran escala afectan el clima desde la escala regional hasta la continental, con impactos significativos en la resiliencia de los bosques. Esta afectación se evidencia en la reducción de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas, mientras que a menudo aumenta la escorrentía superficial. La disminución de la humedad por la pérdida de cobertura y la fragmentación agravará el riesgo de incendios y reducirá la resiliencia de los bosques, que lleva a la degradación o sabanización de los biomas de los bosques tropicales, en combinación con el cambio climático (IPCC, 2022).

La selva amazónica ocupa 7.989.004 km², y de esta extensión Colombia ocupa el 6,6% (527.274 km²). A su vez, la Amazonía cubre el 42,3% del territorio colombiano (Peña et al., 2016). El 52% de la superficie de Colombia se encuentra cubierta por bosques naturales, equivalentes alrededor de 60 millones de hectáreas, las cuales representan diferentes beneficios para la comunidad, como materias primas y servicios ecosistémicos (IDEAM, 2018). Sin embargo, entre los años 2005 y 2015 se perdieron alrededor de 1,5 millones de

hectáreas de bosque (González et al., 2018a). El 50% del cambio de bosque entre 2005 y 2012 se dio principalmente hacia cobertura de pastos (González et al., 2018a).

Del 52% de superficie de Colombia que se encuentra en bosques, el 80% se localiza en la región natural de la Amazonía (42,3% del territorio nacional) que, a su vez, es la región con las mayores tasas de deforestación. De acuerdo con el boletín de detección temprana de deforestación número 23 (IDEAM, 2020), correspondiente al periodo abril - junio del 2020, la región amazónica presentó el 40,75% de las detecciones tempranas de deforestación. Este patrón se ha mantenido a lo largo de los años. Para 2014, el 45% de la deforestación en Colombia se presentó en la región amazónica, principalmente en el departamento de Caquetá (46%), seguido por Putumayo (18%) (ANH e Instituto Humboldt, 2020).

El daño ambiental provocado por la deforestación es grave, y alcanza el nivel crítico porque se concentra en la Amazonía, donde hay mayor biodiversidad. Entre las consecuencias más perjudiciales están la liberación de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera y el daño a los bosques como sumideros, a tal nivel, que pierden la capacidad de cumplir sus funciones como reguladores climáticos e hídricos. El cambio de cobertura forestal en la Amazonía colombiana es un tema especialmente delicado debido a que se da en un ámbito de conflicto armado y con unas condiciones sociales precarias. El portal de análisis “Razón Pública” indica:

“A esto se suma el alto costo social. En zonas con coca, por ejemplo, el 92% de los niños de 6 a 9 años trabaja, el ausentismo escolar es del 68%, el analfabetismo es del 36%, el rezago escolar del 35,5% y el bajo logro educativo del 86,3%. El ingreso promedio mensual es del 56% de un salario mínimo. La pobreza monetaria es del 57%, multidimensional del 47% y extrema del 35%. Estas cifras son más críticas que los promedios de la zona rural dispersa. Los esfuerzos del Gobierno para controlar la deforestación y alcanzar una neta cero para 2030 han fracasado. Contrariamente a la meta propuesta, la deforestación aumenta continuamente, desde las 140.000 hectáreas arrasadas en 2015” (Fernández & Cifuentes, 2022, p. 2).

Buscando cumplir los ODS, el DNP estableció la estrategia para la *implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia*, que establece como primer paso para controlar la deforestación, la consolidación del sistema de monitoreo de bosques para detectar alertas tempranas de deforestación (CONPES, 2018). Sin embargo, los conflictos ambientales son persistentes y la deforestación está aumentando, poniendo en riesgo el logro de la meta de reducir a cero la deforestación neta en la Amazonía, definida en el

marco del Acuerdo de París sobre cambio climático y en la estrategia de implementación de los ODS (Otero & Piniero, 2019).

En este estudio se identificó como una dificultad, la operatividad de las políticas, planes y proyectos planteadas por las autoridades ambientales, incluyendo, el monitoreo oportuno, es decir, que el tiempo que transcurra entre la detección de actividades asociadas a la deforestación como tumbas¹ y quemas de extensiones significativas de bosque y la respuesta de la autoridad pertinente sea corta. Y aunque, las autoridades son conscientes de la importancia del monitoreo, para la región amazónica, la extensión del territorio supone un reto para su vigilancia. Esto ha facilitado el establecimiento de actividades no compatibles con la cobertura boscosa, derivando en su degradación, en calidad y disminución de superficie. Respecto al papel de las autoridades ambientales, el portal Razón Pública indica la “falta de evidencia de esfuerzos de coordinación vertical y territorial. Ninguna de las entidades analizadas ha cumplido las metas trazadas, ni siquiera el Estado. No hay un guion para enfrentar el problema, ni director, ni presupuesto para las acciones exigidas” (Fernández & Cifuentes, 2022, p. 2).

El autor de la presente investigación tuvo la oportunidad de ser parte del equipo de profesionales de Sistemas de Información Geográfica (SIG) responsables de la actividad de monitoreo en CORPOAMAZONIA, primera autoridad ambiental a nivel regional, encargada de velar por el mantenimiento en cantidad y calidad de los recursos naturales de la Amazonía Colombiana. Este puesto permitió al autor evidenciar de primera mano oportunidades de mejora.

En este orden de ideas, la presente investigación surge de una profunda motivación por contribuir al conocimiento, al observarse con preocupación la creciente deforestación en la región, y la falta de información detallada y actualizada sobre el proceso de deforestación en el municipio de Puerto Guzmán, departamento del Putumayo, Colombia. Esta falta de

¹ La tumba es un término asociado a la práctica tradicional de roza, tala y quema, que se “realiza principalmente para establecer cultivos de subsistencia o de pancoger” (Vargas et al., 1988, citado en Rivera, 2019, p. 7). La tumba puede considerarse equivalente al desmonte e incluye una rocería del sotobosque con una herramienta de corte manual (machete), fase en la cual se corta la vegetación herbácea y la leñosa con diámetros inferiores a los 5 cm de DAP, también se cortan las plantas trepadoras (lianás o bejucos). La segunda fase consiste en la tala de los árboles con motosierra y la tercera y última la quema para la reducción en volumen de los residuos vegetales, que facilita la siembra de pastos o cultivos. La tumba se diferencia respecto a la tala para obtener madera para la venta, en que, en la primera el aprovechamiento de los árboles en madera no es una prioridad, porque esta técnica está enfocada en obtener áreas nuevas para actividades agropecuarias y la mayoría de las veces la madera ni siquiera es extraída. La tala de árboles para el aprovechamiento de la madera en la Amazonía colombiana es más de carácter persistente, en donde talan los árboles, pero dejan la matriz de vegetación remanente.

información hace referencia a la escasez de cartografía precisa de cubiertas del suelo a escala 1:25.000 en el área de estudio, lo que motivó plantearse el mejor método para obtenerla, además de analizar el proceso de deforestación en Puerto Guzmán, para comprender mejor sus causas y efectos.

Esta investigación busca dar voz a los habitantes de la zona, incorporando su perspectiva, necesidades y sugerencias de mejora en un análisis, que, en un principio, era más cartográfico. Se considera que es fundamental tener en cuenta la parte más humana de la investigación, para comprender mejor las dinámicas socioeconómicas que impulsan la deforestación en la zona y, en última instancia, proponer medidas efectivas para su gestión sostenible.

La importancia del enfoque cartográfico en la investigación radica en la cuantificación precisa no solo del cambio de las coberturas forestales sino del estado de la remanente, a través del análisis de la fragmentación. En un primer nivel se cuantifica el área en bosque, debido a que su disminución implica la “reducción de la capacidad efectiva de retención de CO₂ debido a la pérdida de biomasa” (Fernández & Cifuentes, 2022, p. 2); en un segundo nivel se analiza la fragmentación forestal, porque “la fragmentación y daño de ecosistemas, representan una amenaza para la biodiversidad” (Fernández & Cifuentes, 2022, p. 2) afectando su funcionalidad como proveedor de servicios ecosistémicos (hábitat de las especies, corredores, etc.).

Ya una vez se cuente con la cuantificación del cambio, lo que permite validar la magnitud de la deforestación, es necesario complementar la investigación con un enfoque cualitativo, que parte de una revisión detallada del contexto del área de estudio, y se complementaría con la percepción de los habitantes locales sobre la deforestación, sus causas y consecuencias, y las posibles soluciones para abordar el problema.

Es importante destacar que la complementariedad entre el enfoque cartográfico y cualitativo es crucial para una comprensión completa y profunda del proceso de deforestación en Puerto Guzmán. Los datos cartográficos pueden proporcionar información sobre la magnitud y la tasa de cambio de la cobertura forestal, mientras que los datos cualitativos pueden proporcionar información sobre las causas subyacentes de la deforestación y la percepción de los habitantes locales sobre el problema. La combinación de estos enfoques permite una comprensión holística y más completa del proceso de deforestación en la región y ayuda a la formulación de políticas y estrategias para abordar este problema.

Para poder analizar por qué los fenómenos naturales presentan patrones territoriales específicos, y analizar las interrelaciones entre estos fenómenos y las actividades humanas (Bocco, 2005), es necesario la delimitación de espacios geográficos relativamente homogéneos en función del medio físico y biológico, es decir, se necesita discriminar las distintas coberturas del suelo. Una vez se cuenta con la clasificación del patrón de cobertura del suelo, es necesario saber por qué presentan estos patrones.

Ahora bien, para analizar la mencionada interrelación patrón suelo – actividades humanas, es necesario partir de la idea de que el espacio geográfico no está formado solo por elementos físicos. Esto se enfatiza porque los métodos tradicionales para entender las interacciones entre humanos y medio ambiente en ocasiones: omiten información a nivel individual, tienden a simplificar las relaciones complejas o no logran integrar datos y métodos entre escalas o disciplinas; por lo que, en muchas situaciones, da como resultado una disminución en la capacidad predictiva o poder explicativo (An et al., 2005).

Para contrarrestar lo anterior, algunos autores sugieren que los atributos aditivos de métodos como el cualitativo sean vistos como complementarios (Millington & Wainwright, 2017), debido a que se debe partir de que las actividades inducidas por los humanos son los factores básicos en la configuración del cambio del paisaje, tanto por prácticas de gestión específica como por efectos sociales de las fuerzas políticas y económicas que controlan la cobertura del suelo (Mendoza & Etter, 2002).

El gobierno nacional, con el objetivo de proponer estrategias assertivas para reducir la presión sobre el recurso, ha encaminado muchos de los esfuerzos a mejorar el monitoreo de la cobertura boscosa y a caracterizar las causas y los agentes causantes de la deforestación. Estas iniciativas se recogen de forma oficial por el gobierno de Colombia en la Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques (EICDGB) (MINAMBIENTE, 2018), que busca cumplir lo aprobado en el “Acuerdo de París” en el 2015. Dicho acuerdo indica que “la base de referencia de superficie de bosque y de cambio en la superficie de bosque para desarrollar medidas de reducción de deforestación y de mitigación al cambio climático, deben ser tomadas a partir del año 2010”, por este motivo el periodo de estudio de la presente investigación inicia a partir del año 2010.

Esta estrategia (EICDGB), constituye la hoja de ruta que las diferentes entidades adscritas al estado colombiano deberán seguir durante la próxima década (2020 - 2030) para afrontar la deforestación de los ecosistemas forestales colombianos. Por ende, será integrado a los diferentes instrumentos de planificación del territorio, lo cual permitirá una implementación efectiva de las líneas de acción allí establecidas (MINAMBIENTE-IDEAM, 2019). La

presente investigación se enmarca en el objetivo específico n.º 5 de la mencionada EICDGB:

“Generar información confiable, consistente, oportuna y de calidad sobre la oferta, estado, presión y dinámica del recurso forestal, como soporte a procesos de toma de decisiones a nivel nacional, regional y local, permitiendo implementar acciones de control y seguimiento a las autoridades ambientales para una administración eficiente del recurso forestal del país, y dar seguimiento a la aplicación de las salvaguardas sociales y ambientales” (MINAMBIENTE-IDEAM, 2019, p. 11).

Las líneas de acción para hacer un mejor seguimiento del recurso son dos:

- Caracterización de calidad de las dinámicas territoriales.
- Mejora de la resolución espacial y temporal.

Para que estas líneas de acción sean efectivas es necesario: (1) identificar el cambio en el momento oportuno para tomar decisiones y de ser necesario tomar acciones antes de que se vean afectadas grandes extensiones de territorio y (2) disponer de herramientas e insumos de calidad para monitorear los territorios con presencia de bosque o aledaños a estos.

Esta situación es de mayor relevancia en los departamentos que componen la Amazonía. La gran extensión de territorio muchas veces excede las capacidades técnicas, humanas y logísticas de las entidades encargadas de la vigilancia del patrimonio ambiental, y, si a esto se añuye las dificultades del “orden público”² (Presencia de grupos armados al margen de la Ley), el cuidado del recurso puede constituirse como un reto.

El refuerzo del monitoreo forestal se consolidó desde la conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (COP19) llevada a cabo en Varsovia en el 2013, en la cual se decidió que “los países en desarrollo deben establecer sistemas nacionales de monitoreo forestal que permitan cuantificar la emisión y absorción de Gases Efecto Invernadero (GEI), así como la variación de carbono en la superficie de los bosques y las reservas forestales” (IDEAM, 2021, p. 1).

Por ende, Colombia, a través de su Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), consolidó el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC)

² En Colombia, la expresión “orden público” se refiere a zonas vulnerables a la violencia y a la presencia de grupos armados ilegales, que perturban la tranquilidad y seguridad de la población

como base fundamental para definir los compromisos internacionales en la reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques (IDEAM, 2021).

Para analizar el proceso de deforestación, se eligió como zona piloto las veredas aledañas a la cabecera municipal de uno de los municipios considerados, a escala nacional, con mayor dinámica de deforestación, el de Puerto Guzmán, Departamento de Putumayo. Para que esta investigación tenga fundamento normativo, en la introducción se puntualizan los acuerdos nacionales e internacionales que establecen las diferentes metodologías que se han aplicado. La base conceptual de este documento tiene dos constructos principales, el primero se refiere análisis cartográfico a partir de la generación de cartografía del área de estudio a escala 1:25.000 para los años 2010 y 2020 mediante la aplicación de metodologías de clasificación supervisada y el posterior análisis de cambio de coberturas y análisis de fragmentación. El segundo detalla los impulsores de la deforestación, como son las causas directas y las subyacentes, y los agentes de esta. Además, describe los métodos para caracterizarlos a escala internacional y nacional. Teniendo como premisa mejorar el poder explicativo de las causas tanto directas como indirectas, se implementaron las encuestas y entrevistas a grupos de población para entender las interacciones que están teniendo los pobladores con las coberturas, sobre todo con las naturales, y la percepción que tienen ante su transformación. También se buscó entender aquellos factores sociales, políticos y económicos que favorecen la permanencia en el tiempo del fenómeno y por qué las estrategias estatales no han tenido el resultado esperado.

1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS

La preocupación por el proceso de deforestación en Puerto Guzmán, el conocimiento de las potencialidades de la teledetección, la voluntad de llenar el vacío en la disponibilidad de cartografía de cubiertas del suelo a escala de detalle, y la posibilidad de integrar el análisis cartográfico con información obtenida a partir de entrevistas y encuestas a la población, motivan el planteamiento de las siguientes preguntas de investigación: ¿la deforestación es realmente un problema en área de estudio?, ¿la identificación de los cambios en las coberturas del suelo a partir de técnicas de teledetección permite analizar de forma objetiva el problema de la deforestación?, ¿el uso de metodología cualitativa permite identificar sus causas?, ¿es posible determinar los cuellos de botella de las medidas de control de la deforestación?.

A partir de estas preguntas de investigación, se estructuran las siguientes hipótesis:

1. La superficie forestal en el área de estudio ha disminuido considerablemente de 2010 a 2020.
2. La ganadería es una de las causas principales de la deforestación.
3. Las actividades ilícitas y el conflicto armado tienen una influencia directa en la deforestación.
4. Los niveles de fragmentación se han visto incrementados en el periodo de estudio.
5. Hay diferencias entre las causas de la deforestación indicadas por los diferentes grupos de población entrevistados y encuestados respecto a lo reportado por fuentes oficiales.
6. El análisis cualitativo permite identificar las debilidades para el éxito de los programas enfocados a reducir la deforestación.

1.3 OBJETIVOS

A continuación, a efectos de especificar lo que esta investigación pretende, se inicia con un objetivo general que define lo que se quiere analizar y unos objetivos específicos que enmarcan las tareas precisas para realizar este estudio de una forma crítica.

El principal objetivo de esta investigación es profundizar en las dinámicas y causas de la deforestación en la región amazónica de Colombia, a través del caso de estudio de un municipio del departamento del Putumayo, localizado en la zona más álgida de cambio de cobertura forestal de este país, conocida como el “arco de la deforestación”, en el periodo comprendido entre los años 2010 y 2020. Para ello, se inició con una determinación cuantitativa del cambio y se prosiguió con el análisis cualitativo de las causas de este cambio.

Esta investigación busca puntualizar la problemática de la deforestación, partiendo de que no es apropiado generalizar la dinámica causal identificada para este fenómeno en Colombia. Esto se hará a partir del sondeo de la realidad de los pobladores, agentes activos de la deforestación, de establecer su percepción ante la deforestación y de conocer las motivaciones por las que realizan los cambios de la cobertura forestal a otras.

De este objetivo general se establecen varios objetivos específicos los cuales se enuncian a continuación:

- Analizar las condiciones físicas, sociales y económicas del área de estudio, para entender los factores que impulsan el proceso de deforestación.
- Cuantificar y analizar los cambios de coberturas del suelo mediante técnicas de teledetección y SIG, para obtener cartografía con altos niveles de precisión, la cual será contrastada entre los años 2010 y 2020.
- Analizar la fragmentación forestal para identificar los bosques que está perdiendo la capacidad de ofrecer soporte ambiental.
- Determinar las causas y agentes causantes de la deforestación en el área de estudio a partir del análisis cualitativo y de la revisión de fuentes secundarias.
- Analizar la percepción de los diferentes actores que participan en el área de estudio sobre las causas y las medidas de control del proceso de deforestación.

1.4 ESTRUCTURA DE LA TESIS

Después de esta introducción, que da contexto a la investigación y a los problemas que se desea dar respuesta, le sigue el segundo capítulo, en el cual, se parte de conocer el concepto de coberturas y los métodos para identificarlas y cuantificar los cambios que tienen. En el inicio del capítulo se profundiza en los conceptos de bosque, fragmentación y deforestación, porque son términos que pueden variar y se justifican los elegidos para la presente investigación. En este apartado se ofrece la descripción de las funciones que cumple el bosque del Amazonas a diferentes niveles y se busca que el lector evidencie su importancia. Además, se aborda la deforestación en el Putumayo a partir de un relato que detalla varios hitos temporales y que brinda un primer acercamiento a las dinámicas sociales y económicas asociadas a las coberturas forestales en el área de interés.

En una segunda instancia se explican los impulsores en un contexto glocal. Se incluye lo reportado por Colombia como causas de la deforestación en la Amazonía y se diferencian las directas (¿cómo?), las indirectas (¿por qué?). Se prosigue con una descripción de los esfuerzos del estado colombiano para que la cobertura forestal se mantenga en el tiempo con una explicación de cómo aborda causas directas de la deforestación como la praderización, los cultivos ilícitos, la minería ilegal, el acceso irregular al bosque, las quemas; y finaliza detallando como se está incursionando en el manejo penal de los delitos asociados a la deforestación. El tercer constructo teórico de este capítulo aborda lo

referente a los métodos de clasificación de coberturas y reporta las descripciones de los productos satelitales usados, las bandas e índices espectrales; relata cómo se pueden detectar los cambios de las coberturas y como se lleva esto a cabo por la autoridad ambiental de Colombia.

En el tercer capítulo se presenta el contexto del área de estudio ubicando al lector en la geografía nacional y explicando cómo se abordó el área de estudio a través de veredas, que es la categoría local de organización del territorio por parte del estado colombiano. Se describe la extensión del área, su fisiografía plana limitada por un costado por el imponente río Caquetá, que recorre al interior por numerosos drenajes que determinan el relacionamiento de la gente con su entorno, al analizarse como transporte fluvial; su clima exuberante de altas temperaturas, y lo reportado por las entidades correspondientes sobre las coberturas presentes y la deforestación. Se prosigue con un contexto humano que incluye cifras demográficas que contextualiza respecto a educación, grupos étnicos y satisfacción de necesidades básicas. Se incluye un numeral amplio sobre las dinámicas productivas, con el cual se pretende mostrar la realidad socioeconómica del área de estudio y fundamentar varias de las causas directas de la deforestación. El capítulo se cierra con un relato cronológico del conflicto armado, en donde se narra el proceso de colonización caracterizado por una ausencia estatal, lo que facilitó la consolidación de grupos al margen de la ley, a un nivel tal, que los pobladores de la zona los percibían como los encargados a priori del control del territorio. En esta narración se evidencia los efectos de un proceso de paz, que al desarticular un grupo armado ilegítimo que tenía un control hegemónico en el territorio, dejó un vacío de poder que fue ocupado por varios grupos residuales del primero, ávidos de controlar la economía ilícita imperante en el área, que no solo son los cultivos de coca, sino también la extracción ilegal de oro, la potrizerización para acaparar territorios, la tala indiscriminada de árboles maderables, etc.

El capítulo 4 contiene la metodología en donde primero se aborda lo que pasó y luego se concretan las razones, es decir, el porqué. Para entender lo que pasó se documentó cada paso a paso para analizar los productos satelitales de observación de la tierra y herramientas de teledetección como Google Earth Engine y MiraMon (MiraMon, 2023). Se utilizaron dos algoritmos de clasificación supervisada (Random Forest y k-NN) que fueron contrastados, los cuales se aplicaron en tres etapas para cada año: composición del conjunto de datos, clasificación y validación. Con esto se buscaba facilitar la comparación y la validación de la metodología implementada. El análisis multitemporal se realizó por medio de matrices y el análisis de la fragmentación por medio de la metodología de Steenmans & Pinborg (2000). Para entender las razones de la deforestación se detalla el

análisis cualitativo de las encuestas y las entrevistas y poder establecer las causas y agentes de los cambios de cobertura en el área de estudio, se usó un software especializado para establecer redes semánticas (Atlas.TI) y así identificar los conceptos más relevantes al preguntar sobre la deforestación. Para validar las coberturas y conocer de primera mano la percepción de los pobladores respecto a la deforestación, se hizo un trabajo de campo exhaustivo. Por último, para realizar la categorización de las causas identificadas se usó matriz de Vester y árbol de problemas.

El capítulo 5 contiene los resultados, en los cuales, una vez se contó con la cartografía de las coberturas y las matrices que indicaban que pasó con las coberturas naturales del 2010 - 2020, si se mantuvieron o cambiaron, y en qué se transformaron, se contrastó con la información obtenida en el contexto, para así relacionar las dinámicas socioeconómicas causantes de la deforestación. Respecto al índice de fragmentación, se usó para evaluar el grado de conectividad de la cobertura forestal al 2020. Partiendo de la premisa de ofrecer un punto de vista objetivo, las entrevistas se presentan con citas textuales de las personas que participaron y las encuestas se contrastan con la información del marco teórico.

El capítulo 6 contiene las conclusiones, se inicia destacando los principales aportes de la investigación relacionando las preguntas de investigación, hipótesis, objetivos y resultados. Además, se resalta la importancia de considerar las perspectivas y realidades locales en la formulación de estrategias para la conservación de los bosques y se ofrece un nuevo punto de partida para futuras investigaciones.



CAPITULO 2.

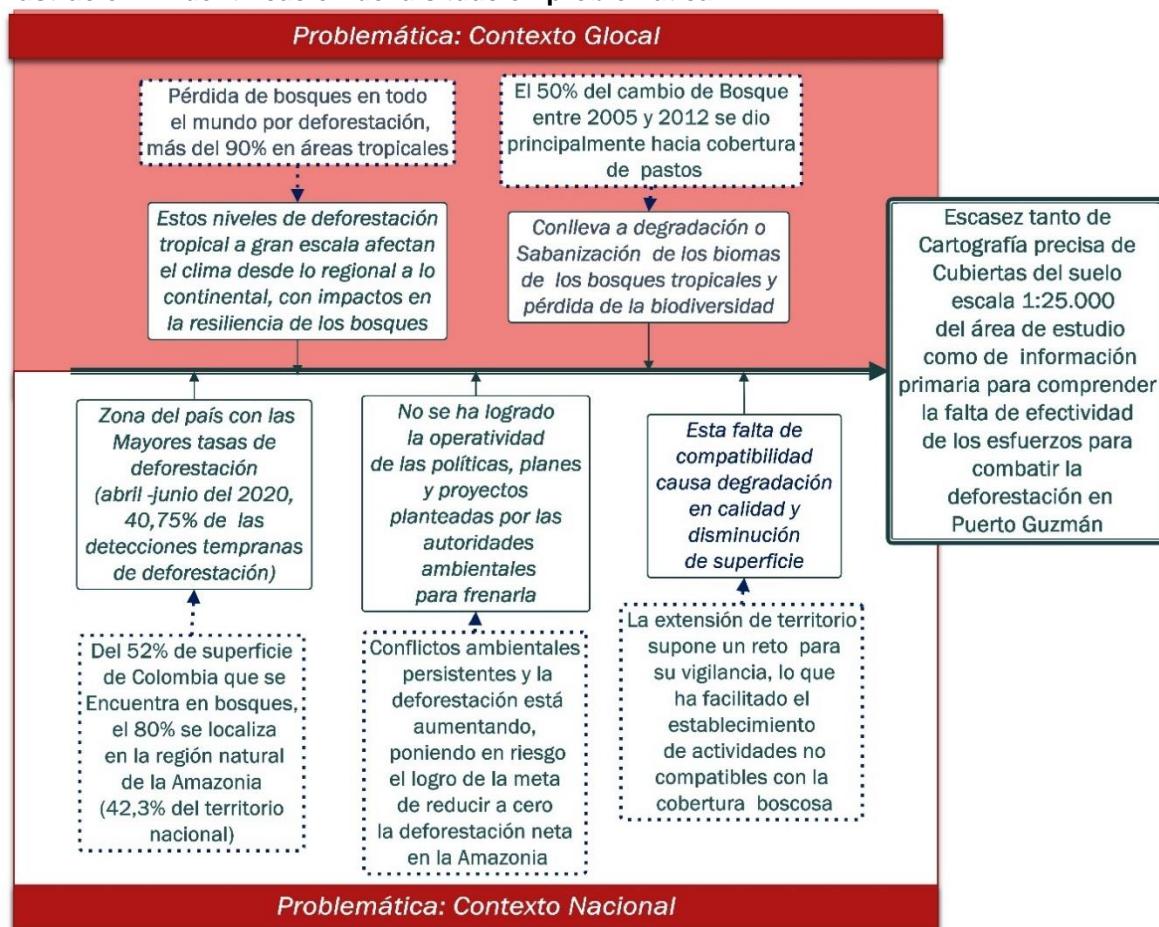
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

*Dosel de bosque húmedo tropical Amazonía Colombiana
Estado sucesional primario
Autor: Eraso, 2022*

CAPITULO 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La determinación de los constructos teóricos para analizar la deforestación en Puerto Guzmán, partieron de la problemática identificada tanto a un nivel glocal como nacional. Se identificó que las altas tasas de pérdida de bosques llevan a la afectación climática a escalas planetarias, y que estas coberturas, en su mayoría, han sido transformadas a pasturas, generando esta simplificación del sistema una pérdida directa de la biodiversidad. En el caso de Colombia, las mayores dinámicas de cambio de cobertura que el gobierno no ha logrado controlar, se dan en la región de la Amazonía. Esto se debe en gran parte a la falta de coordinación vertical y territorial entre entidades estatales como alcaldías, gobernaciones, corporaciones autónomas regionales, institutos de investigación, etc. En la Ilustración 1 se describe la situación problemática descrita, puntuizando las principales causas.

Ilustración 1: Identificación de la situación problemática



La fundamentación teórica se compone de cuatro elementos principales: (1) cobertura y uso del suelo, (2) cobertura boscosa, deforestación y fragmentación, (3) impulsores (drivers) de la deforestación y (4) métodos para la clasificación de las coberturas y detección de cambios. A continuación, se abordará cada uno de estos componentes en un contexto general y se irá detallando a medida que se avance en la investigación.

2.1 COBERTURA Y USO DEL SUELO

El cambio en las coberturas del suelo es causa y consecuencia del cambio ambiental global. “En ningún lugar del mundo la destrucción forestal (absoluta) está ocurriendo más rápidamente que en el Amazonas” (Laurance, 1998, p. 411). Los cambios en el uso y la cobertura del suelo alteran considerablemente el equilibrio energético y los ciclos biogeoquímicos de la Tierra, lo que contribuye al cambio climático y, a su vez, afecta las propiedades de la superficie terrestre y la provisión de servicios ecosistémicos (Song et al., 2018). “Durante décadas, la deforestación en los trópicos se ha asociado con una combinación de varios factores económicos, demográficos, institucionales, naturales y de políticas, que varían según la escala espacial y temporal del área estudiada” (Armenteras et al., 2013, p. 1). La transformación del paisaje, la interrupción de los ciclos biogeoquímicos, las especies invasoras y el cambio climático se encuentran entre las principales consecuencias de un mundo modificado por los humanos. Las actividades de uso del suelo son actualmente el factor de cambio global más importante en la biodiversidad terrestre (Echeverría et al., 2016).

Colombia, que está ubicado en la parte noroeste de América del Sur, se encuentra entre los países más biodiversos y vulnerables de la Tierra (Rangel, 2005). Colombia es un país de contrastes ecológicos y climáticos. Su variación en altitud, sus diferentes sustratos geológicos y las diferencias en precipitaciones y temperaturas, hacen que en este país coexistan diversos ecosistemas, como desiertos, selvas tropicales y páramos, a cortas distancias unos de otros. Como resultado de la variedad biofísica, socioeconómica y política en sus cinco regiones principales, la Andina, el Caribe, el Pacífico, la Orinoquía y la Amazonía; Colombia muestra patrones regionales de transformación del paisaje e impacto humano. Los gradientes ambientales y socioeconómicos de Colombia lo convierten en un valioso estudio de caso sobre cómo la biodiversidad responde al impacto humano en los trópicos (Echeverría et al., 2016).

“La Amazonía noroccidental es una región tropical donde, a diferencia de la Amazonía brasileña, las prácticas agrícolas a gran escala aún no están bien

establecidas. Sin embargo, la región alberga una combinación de varios procesos simultáneos, y las sinergias entre ellos son responsables de los cambios en el uso y la cobertura del suelo observados en las últimas décadas. Esta región en particular abarca bosques tropicales extensos y bien conservados, pero también cultivos ilícitos, actividades madereras y pastos” (Armenteras et al., 2013, p. 2).

La explotación de los recursos naturales es un activo importante en la economía de Colombia, en 2021, la agricultura registró un valor proporcional al 7,43% del producto interno bruto (PIB), suficiente para quedarse con el sexto puesto del ranking (DANE, 2022). Por lo tanto, el cambio de uso de suelo no planificado puede ser una de las principales causas de la disminución de la biodiversidad en el país. Se ha identificado la expansión de la industria ganadera, la agricultura y la deforestación (principalmente debida a la producción de cultivos ilícitos) como las principales razones del cambio de cobertura del suelo en Colombia (IDEAM, 2018; Tiria et al., 2018; SINCHI, 2014); con influencias adicionales de la fertilidad del suelo, la proximidad a las carreteras, la densidad de población rural y la migración forzada (De Luque et al., 2019; Galindo et al., 2014). Cuantificar los impactos promedio del cambio de cobertura del suelo en los conjuntos ecológicos locales es importante porque las decisiones de conservación y gestión del suelo generalmente se implementan a nivel nacional o regional (Echeverría et al., 2016).

De todos los cambios en las cubiertas del suelo, “el 60% está asociado con actividades humanas directas y el 40% con impulsores indirectos, como el cambio climático” (Song et al., 2018, p. 3). El cambio en la cobertura del suelo refleja tendencias regionales distintivas que engloban una serie de actividades. Entre ellas se encuentran la deforestación en zonas tropicales y la expansión de las actividades agropecuarias y urbanización en dichas áreas, así como el proceso inverso de reforestación o forestación en regiones de climas templados. De manera consistente en todos los dominios climáticos, los sistemas montañosos han ganado cobertura de árboles y muchos ecosistemas áridos y semiáridos han perdido cobertura vegetal (Song et al., 2018). Contrariamente a la opinión predominante de que la superficie forestal ha disminuido a nivel mundial, la cubierta arbórea ha aumentado en 2,24 millones de km². Esta ganancia neta general es el resultado de una pérdida neta en los trópicos compensada por una ganancia neta en los extratropícos. La cobertura mundial de suelo desnudo ha disminuido en 1,16 millones de km² (-3,1%), sobre todo en las regiones agrícolas de Asia (Song et al., 2018).

A menudo, se confunde entre uso del suelo y cobertura del suelo y es importante diferenciar que el primer concepto hace referencia a los propósitos y actividades a través de los cuales

las personas interactúan con la tierra y los ecosistemas terrestres (Verburg et al., 2011) y el segundo, es el vínculo principal con el subsistema biofísico (Turner II et al., 2021, p. 1291). Profundizando más en estos dos conceptos, de acuerdo con el Instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el término cobertura hace referencia a todos aquellos elementos naturales (bosques, sabanas, lagunas, etc.) o artificiales (cultivos, represas, ciudades, etc.) que ocupan determinada porción de la superficie terrestre. Es decir, cuando se habla de cubiertas del suelo se hace referencia a las características biofísicas del territorio.

El uso del suelo, por su parte, hace referencia a “cómo las personas utilizan el suelo con la intención de obtener productos y beneficios a partir del uso de los recursos que este ofrece” (Badia & Gisbert., 2021, p. 3). Es decir, el empleo que se dan a los diferentes tipos de cobertura para satisfacer sus necesidades, como agricultura, vivienda, ganadería y recreación. Este uso depende de condiciones culturales (actividades tradicionales) y económicas (disponibilidad de capital) y de condiciones de mercado existentes en un territorio (Delgado, 2019). Por ende, “las cubiertas del suelo se pueden gestionar o utilizar de formas muy distintas y esto es lo que deriva a un tipo determinado de usos del suelo” (Badia & Gisbert, 2021, p. 3).

El objetivo fundamental del estudio de la cobertura del suelo es registrar el estado, las características y la naturaleza de los elementos que constituyen la cobertura de una superficie terrestre en una época determinada (Delgado, 2019). Para esto, “la cartografía de usos y cubiertas del suelo es una herramienta fundamental para explicar y entender la evolución del paisaje” (Badia & Gisbert, 2021, p. 3). Teniendo clara la diferencia entre uno y otro, se puede determinar si el estudio debe tener un enfoque en monitoreo y descripción de patrones de cambios en la cobertura del suelo o, incluso, explicar los impulsores del cambio en la cobertura del suelo (Verburg et al., 2011).

2.2 COBERTURA BOScosa, DEFORESTACIÓN Y FRAGMENTACIÓN

En este apartado se revisará qué es un bosque, porque es más que un conjunto de árboles y en qué condiciones se puede categorizar como tal. Una vez establecido esto, se relata la escala que se debe considerar para estudiarlo. También se relaciona lo que algunos autores han dicho sobre el concepto de deforestación y fragmentación, que los causan y a su vez, que generan.

2.2.1 Entender qué es el bosque para comprender el impacto de su pérdida

Los bosques proporcionan una gama de bienes y servicios que benefician los medios de vida y el bienestar de las personas y juegan un papel importante en las economías de todo el planeta. Es ampliamente reconocido que la información confiable y oportuna sobre los recursos forestales es esencial para evaluar todos los beneficios de los bosques, así como para facilitar a los gobiernos y otras partes interesadas en la evaluación y el seguimiento de la eficacia de las políticas y programas relacionados con la silvicultura y otros usos del suelo, para la toma de decisiones, la planificación sostenible y la promoción de prácticas que conserven los ecosistemas forestales a largo plazo (Achard et al., 2017).

Pero ¿qué es un bosque?, existen innumerables definiciones de bosque. Sin embargo, la mayoría de las definiciones comparten ciertos parámetros de umbral, incluso para el área mínima, la altura mínima y el nivel mínimo de dosel. En su evaluación de los recursos forestales de 2015, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (FAO, 2015) utiliza la categoría de bosque para áreas con una cobertura mínima del 10%, una altura mínima de 5 m y una superficie mínima de 0,5 ha, agregando que el uso forestal debe ser el uso predominante (Achard et al., 2017).

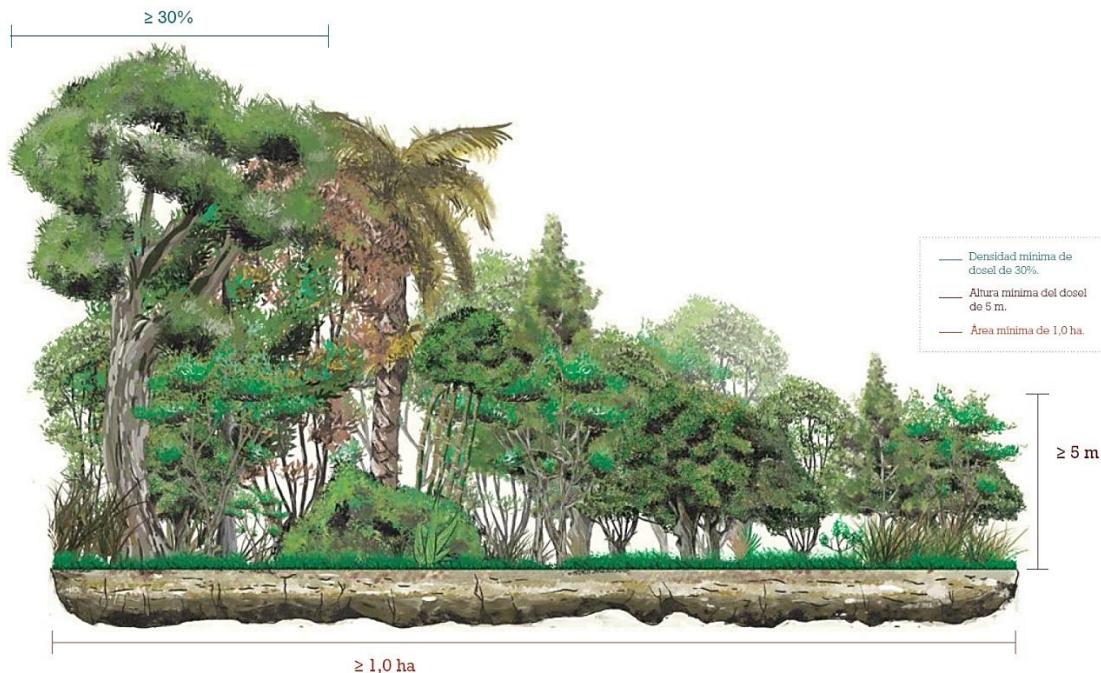
A los efectos del Protocolo de Kioto el bosque se puede definir con base en unos rangos de los parámetros anteriormente comentados (UNFCCC, 2006):

- Superficie forestal mínima de 0,05 a 1 ha.
- Potencial para alcanzar una altura mínima de madurez *in situ* de 2 a 5 m.
- Cobertura mínima de la copa de los árboles (o nivel de población equivalente) de 10% a 30%.

La definición de bosque natural en Colombia establece que “la densidad de dosel debe ser de al menos el 30%, un área mínima de 1 ha y una altura mínima de 5 metros (Ilustración 2), excluyendo de ello las plantaciones forestales y los cultivos de palma”. A continuación, se detalla el concepto acogido por el IDEAM:

“Tierra ocupada principalmente por árboles, que puede contener arbustos, palmas, guaduas, hierbas y lianas, en la que predomina la cobertura arbórea con una densidad mínima del dosel de 30%, una altura mínima del dosel (*in situ*) de 5 m al momento de su identificación y un área mínima de 1,0 hectáreas. Se excluyen las coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales, cultivos de palma y árboles sembrados para la producción agropecuaria” (Galindo et al., 2014, p. 12).

Ilustración 2: Definición de bosque natural en Colombia



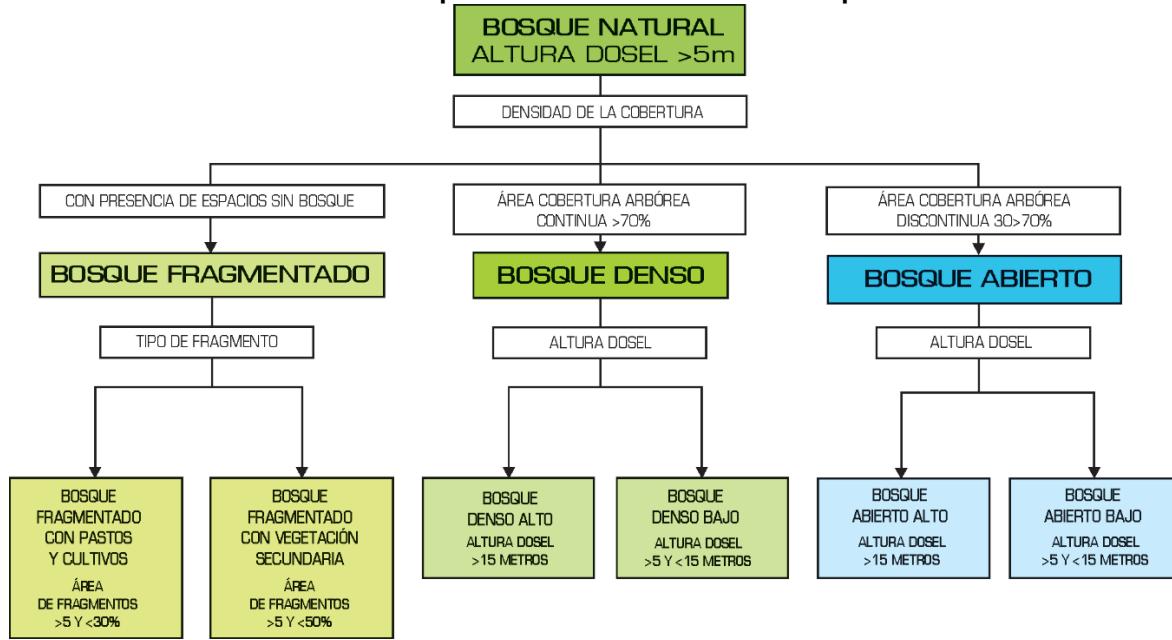
Fuente: Ramírez et al., 2018, p. 18

La definición de bosque permite cierta flexibilidad a los países al diseñar un plan de monitoreo de esta cobertura, porque el análisis de los datos de teledetección puede adaptarse a diferentes umbrales mínimos de cobertura de copas de árboles y de superficie forestal mínima.

De ahí que, al momento de interpretar las coberturas del suelo, los bosques se clasifican, a partir de la densidad de la cobertura arbórea, en densos y abiertos; de acuerdo con la altura del dosel (altos y bajos) y según si la cubierta tiene “presencia de espacios sin bosque” en bosques fragmentados o no (IDEAM, 2010, p. 41). De esta manera, se obtiene la clasificación que se esquematiza en la Ilustración 3.

Los criterios de esta clasificación permiten categorizar los resultados de los mapas de coberturas porque brindan rangos para calificar la cobertura boscosa de un área de estudio en bosque denso, abierto o fragmentado. Esto tiene un particular interés para esta investigación, porque permite entender cómo se integra la fragmentación obtenida a partir de la aplicación del índice de Steenman & Pinborg (2000) en el análisis de las coberturas, porque al cruzar el mapa de coberturas y el mapa de fragmentación, dependiendo del nivel de esta última se puede mantener la denominación de “bosque” o concluir que la cobertura boscosa corresponde a “bosque fragmentado”.

Ilustración 3: Criterios del IDEAM para la clasificación de los bosques



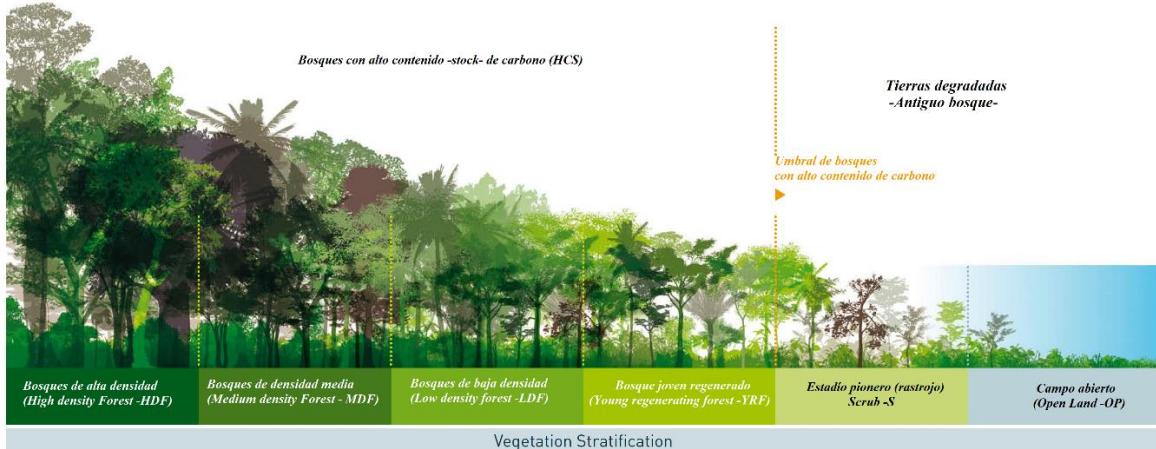
Fuente: IDEAM, 2010, p. 41

La densidad se define como el porcentaje de cobertura de la copa, que, a su vez, corresponde al porcentaje del suelo o del terreno ocupado por la proyección perpendicular de la vegetación (estratificación horizontal) en su conjunto, o por uno de sus estratos o especies (FAO, 1996).

“Una cobertura densa corresponde a una cobertura arbórea mayor a 70% de la unidad, en la cual las copas se tocan. Una cobertura se considera abierta cuando la cobertura arbórea representa entre 30% y 70% del área total de la unidad, en la cual la mayoría de las copas no se tocan entre ellas” (IDEAM, 2010, p. 39).

En lo que respecta a la clasificación por altura en bosques bajos y altos, siendo bajos los estratos de alturas comprendidas entre 5 y 15 metros, y como estratos de árboles altos los que tienen altura superior a 15 metros. Se facilita entender el contraste de la estructura vertical de las diferentes clases de cobertura al observar la Ilustración 4.

Ilustración 4: Estratificación de los bosques por densidad y altura del dosel



Fuente: adaptado a partir de Rosoman et al., 2017, p. 20

La Tabla 1 describe cada una de las clases de estratificación del bosque.

Tabla 1: Descripción de las clases de estratificación de los bosques

CLASES DE ESTRATIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	CLASES IDEAM
HDF, MDF, LDF	Bosque de alta densidad, bosque de densidad media y bosque de baja densidad: Bosque natural de dosel cerrado a abierto que varía de alta densidad a baja densidad. Los datos del inventario indican la presencia de árboles con un diámetro > 30 cm y dominio de las especies clímax.	Bosque denso Bosque abierto Bosque fragmentado
YRF	Bosque joven regenerado Bosques muy perturbados o áreas forestales que se regeneran a su estructura original. Distribución de diámetro dominada por árboles de 10 - 30 cm y con mayor frecuencia de especies pioneras en comparación con LDF. Esta clase de cobertura terrestre puede contener pequeñas áreas de agricultura en pequeña escala. Nota: plantaciones abandonadas con menos del 50% del área basal que consiste en árboles plantados podría entrar en esta categoría o superior. Concentraciones > 50% del área basal no se consideraría bosque HCS sino más bien plantaciones y deben clasificarse por separado.	Vegetación secundaria alta
S	Estado pionero (rastrojo): Áreas de tierra que alguna vez fueron bosques, pero que han sido taladas en el pasado reciente. Dominado por matorrales bajos con cierre de dosel limitado. Incluye áreas de hierbas altas y helechos con especies de árboles pioneros dispersos. Parches ocasionales de los bosques más viejos se pueden encontrar dentro de esta categoría.	Vegetación secundaria baja
OL	Campo abierto: Terreno recientemente despejado con principalmente pastos o cultivos. Pocas plantas leñosas.	Pastizales

Fuente: traducido de Rosoman et al., 2017, p. 21

2.2.2 Deforestación

La mayoría de las definiciones caracterizan la deforestación como la conversión a largo plazo o permanente de la cobertura de bosque a otro tipo de cobertura no boscosa. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) definió la deforestación como: “la conversión inducida por los humanos de tierras boscosas a tierras no boscosas” (UNFCCC, 2001, p. 122). La deforestación provoca un cambio en la cobertura del suelo, los cambios comunes incluyen la conversión de bosques a tierras de cultivo anuales, a pastizales, a plantas perennes (como la palma de aceite o arbustos) y a tierras urbanas u otra infraestructura humana.

La deforestación implica la abrupta transición de tierra con árboles a tierra sin árboles sin rebrote posterior, es decir, la pérdida de bosque. Estas pérdidas se pueden asociar con eventos como incendios forestales, o con prácticas de uso y manejo del suelo como tala selectiva, plantaciones forestales, sistemas agroforestales de pequeños agricultores o agricultura de subsistencia de transición (Curtis et al., 2018).

En el monitoreo con teledetección se debe considerar cuatro clases de cobertura terrestre dentro del continuo degradación - deforestación:

- (i) bosque no perturbado;
- (ii) bosque degradado, donde la cubierta forestal se mantiene por encima de un umbral crítico y no se ha producido ningún cambio en el uso del suelo;
- (iii) deforestación causada por perturbaciones sucesivas o severas, donde la cubierta forestal cae por debajo de un umbral crítico de la estructura del dosel forestal, pero no ocurre un cambio en el uso del suelo;
- (iv) deforestación total, donde la cubierta forestal cae por debajo de un umbral crítico.

La diferenciación entre las últimas tres clases es clave para la aplicación de procesos legales y puede respaldarse con evaluaciones a más largo plazo, la consideración de los patrones geométricos de cambio (los bordes quemados rara vez son lineales) y las visitas al terreno (Lapola et al., 2023).

Los ecosistemas de la cuenca amazónica han suscitado interés en su estudio y conservación, pues son parte de los reservorios de carbono más grandes del mundo y son el hábitat de una de cada cinco especies de mamíferos, peces, aves y árboles en el mundo. Además, generan un equilibrio global de agua y energía, lo que convierte la cuenca en un

actor estratégico en la circulación atmosférica global, debido a que cerca de 8 millones de toneladas de agua se evaporan de los bosques amazónicos cada año (Tiria et al., 2018).

La Amazonía es fuente de preocupación mundial debido a que el cambio climático genera presión sobre los ecosistemas y amenaza su permanencia, y también porque el cambio de cobertura y uso del suelo en esta región puede contribuir drásticamente a la alteración del balance de radiación del sistema superficie - atmósfera. En la Amazonía colombiana se ha deforestado, según datos del IDEAM, entre 1990 a 2013, un total de 2.792.700 ha (IDEAM, 2014).

El departamento de Putumayo es uno de los nueve que conforman la región amazónica colombiana. Además, es uno de los seis departamentos donde se registró la mayor pérdida de bosque natural en el país durante el año 2021, concentrando específicamente el 79% de la deforestación (IDEAM, 2022). Uno de sus principales focos se localiza en la vía carreteable que conecta los puertos fluviales de La Tagua (río Caquetá) y Puerto Leguízamo (río Putumayo). Esto se debe, sobre todo, al poblamiento y posterior desarrollo de actividades agropecuarias, que han llevado al cambio de cobertura y uso de suelo a potreros mediante la tala y quema de bosque. Además,

“Aunque en el municipio han existido diferentes estrategias de conservación, como la creación del Parque Nacional Natural La Paya en 1984 y la adjudicación de quince resguardos indígenas donde habitan siete etnias diferentes, el aumento de la deforestación desde la década de los noventa ha sido progresivo” (Tiria et al., 2018, p. 292).

El cambio de coberturas en la región se remonta a finales del siglo XIX. En este periodo inicial, aunque no se hizo la transformación como tal, se dio apertura a las vías que facilitaron el acceso a colonizadores. Todo este proceso de cambio se inició con la navegación a vapor por el río Putumayo para extraer la quina (*Cinchona sp.*) de “las selvas del alto Caquetá y alto Putumayo” (Tiria et al., 2018, p. 291) hacia Manaos y, posteriormente, darles salida por el océano Atlántico. Luego que pasara el pico de precios de la quina, empezó el del caucho (*Hevea brasiliensis*). Estas dos incursiones dejaron una red de caminos terciarios, que facilitaron el acceso a la región denominada como bajo Putumayo. El potencial cauchero de la zona dio origen al conflicto colombo-peruano, que instó al gobierno colombiano a definir los límites con Ecuador, Brasil y Perú (Coral, 2018).

Este conflicto culminó en 1935 y consolidó el poblamiento de Leguízamo. De allí surge otra etapa de colonización, no solo influenciado por la construcción de la base militar, sino

“también por la adecuación que se llevó a cabo desde 1930 de la vía que conecta La Tagua con Puerto Leguízamo, entre los ríos Caquetá y Putumayo, por la cual los militares colombianos pudieron transportar armas” (Tiria et al., 2018, p. 291). La deforestación continuó en esta época, debido al establecimiento de cultivos de pancoger y por la demanda de madera estructural que conllevó la explotación de la selva y el tráfico de animales vivos y silvestres.

En 1943 se dio un punto de inflexión, debido a la generalización de la ganadería, con ganado comprado a precios módicos en el país vecino del Ecuador, empezaron a aparecer potreros, sobre todo en la región entre Puerto Leguízamo y la Tagua. La potrerización tuvo un crecimiento exponencial a partir de la década de los cincuenta por la llegada de desplazados de la zona andina, debido a la violencia entre liberales y conservadores (Tiria et al., 2018). Según Yaffe (2012), el periodo comprendido entre 1946 y 1966 fue conocido coloquialmente como “La Violencia” y empezó en las regiones rurales posterior al asesinato del líder liberal Gaitán en 1948, evento denominado “El Bogotazo”. Estos desplazados, de comunidades campesinas de los Santanderes, Antioquia y Tolima, incentivarón la actividad ganadera, en detrimento del bosque.

Esta forma de ver el bosque como algo que debe ser domesticado (simplificado o eliminado) en parte fue impulsada por el gobierno, que buscaba la colonización de los terrenos e invitaba a su transformación por actividades agrícolas o pecuarias. En la reforma agraria de 1936 impulsada por el Gobierno de Alfonso López Pumarejo, se instauró la Ley 200, la cual indicaba que, si el “terreno no era explotado económicoamente en un término de diez años, era declarado baldío y su dominio retornaba al Estado” (Pulecio, 2006, p. 21). Esta Ley buscaba impulsar la titulación para quien trabajara la tierra, sobre todo “los campesinos en calidad de aparceros o arrendatarios” (Franco & De Los Ríos, 2011, p.102). Fue una ley impopular entre los terratenientes, cuyas grandes extensiones de tierra provenían desde la época de la Colonia y según Machado, “condujo a la expulsión de millares de aparceros de las haciendas para no reconocerles las mejoras” (Fajardo, 2015, p. 21).

En 1944 aparece la ley 100, la cual declaraba como válidos los contratos de aparcería, derogando el hecho de que si se cultivaba la tierra se tenía derecho a su propiedad. Dicha ley “protegía la expulsión del trabajador para luego reengancharlo como asalariado”. Su objeto era defender la propiedad privada de la tierra, debido a que desaparecía la necesidad de ponerla a producir, con tal de que se demostrara que se estaba incrementando su productividad. Este aumento de la capacidad de producción del suelo

“era demostrado por los hacendados con compras de maquinaria agrícola, semillas y agroquímicos” (Salgado, 2000, p. 32).

Todas estas políticas de reforma fueron un fracaso, debido a que se concibieron en el centro del país, sin tener en cuenta las realidades de las comunidades y su entorno. Por ello, se creó “un frente de colonización más amplio tanto del piedemonte amazónico como del bajo amazonas, del Caquetá y del Putumayo” (Tiria et al., 2018, p. 292). Debido a ello, la ganadería en el Putumayo tuvo un fuerte repunte en la década de los sesenta y setenta, pero se fue declinando hacia los ochenta debido a la aparición de los cultivos de coca (*Erythroxylum coca*). En esta misma década se estableció el Parque Nacional Natural La Paya (1984) y la mayoría de los resguardos indígenas que actualmente se encuentran consolidados en el municipio de Leguízamo (1987 - 1988)” (Tiria et al., 2018, p. 292).

En la década de los ochenta, en el Putumayo, se dio el auge de la coca (1981 - 1987) y un importante repunte demográfico en la región (258%). No obstante, a partir de 1988 disminuye la actividad cocalera debido a los planes de sustitución de cultivos ilícitos, que incluía tanto la erradicación manual como las aspersiones de glifosato (Coral, 2018). Dávalos et al. (2014), utilizando datos a nivel de grilla y discriminando por regiones, demuestran que la cercanía a nuevas parcelas de coca y una mayor proporción de área sembrada con coca solo aumentaron la probabilidad de deforestación en el sur de Colombia entre 2002 y 2007 (Erasso & Vélez, 2020). Por otra parte, mediante un análisis estadístico espacial a nivel municipal Erasso & Vélez (2020), señalan que únicamente en los departamentos de Putumayo y Caquetá en el 2001 existía una relación inversa entre el porcentaje de área en un municipio con coca y el porcentaje de área de bosque primario.

Negret et al. (2019), afirman que, si bien la cercanía a las plantaciones de coca exhibió una relación positiva con la deforestación entre 2000 y 2010, su poder explicativo, solo equivale a un 3% en la capacidad predictiva del modelo completo (78% de precisión), lo que denota su poca relevancia. En síntesis, tal como señala Dávalos et al. (2014), los cultivos de coca son más bien indicio del proceso disturbante del bosque, no su causa principal de la deforestación.

2.2.3 La fragmentación

Ya visto lo concerniente a cobertura forestal y deforestación, es apropiado ampliar el concepto de fragmentación. Para efectos de esta investigación, se abordó la fragmentación como un proceso de cambio que implica la aparición de discontinuidades en los hábitats; lo que era originalmente una superficie continua de vegetación, se transforma en un

conjunto de fragmentos desconectados y aislados entre sí. Este tipo de fragmentación no obedece a ningún tipo de planeación, es realizada por los pobladores y no cuenta ni con los permisos necesarios ni con asistencia técnica.

Cuanto más pequeños son los fragmentos, mayor vulnerabilidad para las especies a las condiciones ambientales adversas, que son más frecuentes en sus bordes que en el interior. Esto conlleva a una mayor probabilidad de extinción de las especies, que aumentará cuanto menor sea el número de individuos que formen las poblaciones que permanecen en los fragmentos. En las fases iniciales del proceso de fragmentación, la pérdida de superficie es la causa principal de disminución de diversidad biológica, mientras que, en fases más avanzadas, los efectos del aislamiento de los individuos toman mucha más importancia (Santos & Tellería, 2006).

Los efectos de la fragmentación no son lineales, sino que se multiplican al llegar a cierto porcentaje de hábitat destruido, el “umbral crítico”, a partir del cual las extinciones se disparan (Andrén, 1994). Este dependerá de los requerimientos de cada especie en términos de hábitat y de movilidad. Algunos estudios indican que el número de especies presentes en un hábitat disminuye significativamente cuando se pierde más del 80% del hábitat original y los fragmentos de hábitat que quedan están aislados (Santos & Tellería, 2006).

Ahora bien, los mapas de cobertura permiten evidenciar porciones de territorio, donde la homogeneidad de la cobertura se ha visto alterada, pero no aporta información sobre la composición y la estructura de esta cobertura. La reducción de las reservas, que conlleva a la fragmentación forestal se da cuando se intervienen los fustales establecidos, es decir, árboles maduros con diámetros aptos para la intervención forestal (>40 cm de diámetro a la altura del pecho -DAP) con fines de explotación maderable. Las especies de mayor demanda son también las de madera de mayor densidad y por ende las de mayor índice calórico, es decir, maderas que al ser quemadas liberan más calor porque tienen estructuras celulares más compactas, lo que permite una mayor acumulación de biomasa. La reducción de la biomasa de un ecosistema boscoso también ocurre cuando se elimina el sotobosque, dejando solo algunos árboles, cuyas copas se amplían, tocándose entre sí debido a la falta de competencia o por la ocupación de claros con especies pioneras de baja biomasa (Meza-Elizalde & Armenteras, 2018).

Este tema cobra especial interés, debido a que la degradación de la composición y estructura de un bosque tiene relación con la “reducción en las reservas de carbono de los bosques que continúan siendo bosques luego de una perturbación” (Ramírez et al., 2018, p. 7). Colombia, debido a que tiene parte de la Amazonía, debe realizar “la evaluación de

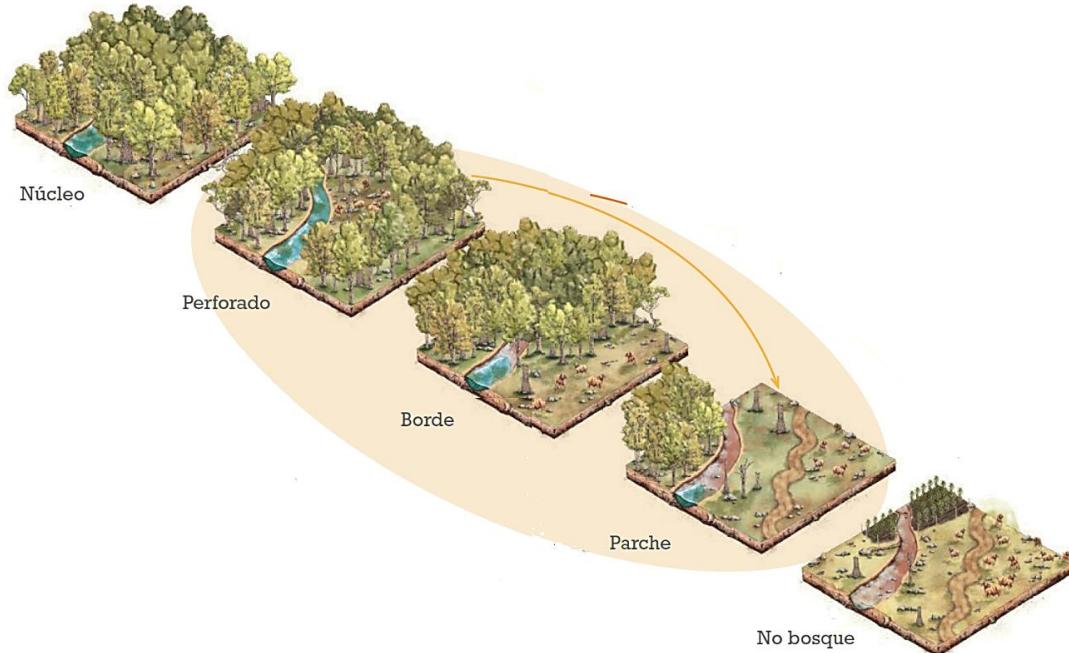
la tasa anual de pérdida en las reservas de carbono” (Morales-Barquero et al., 2014, p. 1654). Los autores plantean que la opción más confiable para estimar este cambio de la composición y de la estructura es “combinar sensores remotos y datos de campo” (Ramírez et al., 2018, p. 11).

Los ecosistemas de bosques tropicales son altamente sensibles a las actividades antrópicas, por lo que, son varios los estudios que buscan determinar “el comportamiento y respuesta de los bosques a las presiones generadas por procesos humanos” (De Luque et al., 2019, p. 32). Esta respuesta no es fácil de solucionar, debido a que actualmente se busca determinar de una forma numérica la capacidad del sistema de continuar con los flujos ecológicos inherentes. Los índices pretenden facilitar esta medición y uno que es especialmente útil es el de cuantificación ecológica, porque se basa en el análisis de la cubierta vegetal del terreno, y tiene en cuenta la fragmentación (Armenteras et al., 2018).

La fragmentación ocurre cuando hay cambios en la cobertura del suelo, afectando la continuidad de la cobertura forestal (Thompson et al., 2013), es decir, que se eliminan grandes extensiones de bosque, quedando solo pequeñas áreas (parches) aisladas entre sí (Bennet, 1998, citado en San Martín et al., 2001). Los efectos de dicho impacto se pueden enmarcar en tres tipos: 1) Reducción en el tamaño de los fragmentos o parches de hábitats (menos recursos para su alimentación), 2) aislamiento de los parches (se aumenta la distancia entre los parches) y 3) aumento del efecto borde, el cual crea una banda perimetral de hábitat con condiciones adversas para las especies allí establecidas (Santos & Tellería, 2006). Las transiciones entre las clases de fragmentación se puede ver en la Ilustración 5. La medición de la fragmentación se realiza a través de indicadores o índices, que son medidas estadísticas que permiten tanto la cuantificación como la comparación, factores importantes para las evaluaciones multitemporales o la modelación prospectiva del territorio (De Luque et al., 2019).

La Amazonía se ve amenazada constantemente por la fragmentación, debido a la ruptura progresiva de este sistema forestal en parcelas más pequeñas, lo transforma, cualitativamente, en uno muy diferente al original (Cabezas, 2020). Esta conversión genera la pérdida de hábitats, aislamiento de especies, degradación de los ecosistemas y disminución o extinción de especies de flora y fauna (Ewers & Didham, 2006, citado en Cabezas, 2020, p. 2). En síntesis, la fragmentación se entiende como la división de un hábitat originalmente continuo en relictos remanentes que quedan inmersos en una matriz transformada (Sanders et al., 1991).

Ilustración 5: Transiciones entre las clases de fragmentación



Fuente: adaptado a partir de Shapiro et al., 2016, citado en Ramírez et al., 2018

Es importante tener en cuenta, que los estudios de cobertura forestal para el Amazonas se realizan, sobre todo, a nivel de paisaje, esto impacta en el grado de importancia que se les da a los pequeños fragmentos de bosque. La investigación sobre los impactos a nivel de paisaje de la deforestación en el Amazonas sugiere que una vez que se ha eliminado aproximadamente el 20% de la cobertura forestal (es decir, que queda menos del 80%), el tamaño medio de los fragmentos disminuye rápidamente y estos estarán más aislados (Oliveira de Filho & Metzger, 2006).

Una vez que el hábitat total cae por debajo del 30%, la fragmentación del hábitat (tamaño y aislamiento de los fragmentos) comienza a influir más que los efectos directos de la pérdida de hábitat (Andrén, 1994). En otras palabras, aunque se ha perdido el 70% del hábitat, en realidad se ha perdido mucho más, debido a la pérdida de calidad del bosque remanente a causa de los impactos exponenciales de su fragmentación (Rosoman, 2015). Para la categorización de la cobertura forestal se propone que un paisaje con una cobertura forestal de hasta un 80% se consideraría que tiene cobertura forestal alta y con menos del 30% se consideraría que tiene cobertura forestal baja (Rosoman, 2015).

Con el fin de conocer la fragmentación en el área de estudio se aplicará el índice de fragmentación antropogénica de la metodología de Steenmans & Pinborg (2000). Este

pretende ser un indicador que ayude a entender la complejidad del paisaje³, expresando la conectividad de áreas potencialmente interesantes para su conservación, sobre todo, de aquellas que se encuentran muy presionadas por las actividades humanas (urbanización, industria o agricultura) o por la presencia de grandes ejes de comunicación terrestre.

2.3 IMPULSORES (DRIVERS) DE LA DEFORESTACIÓN

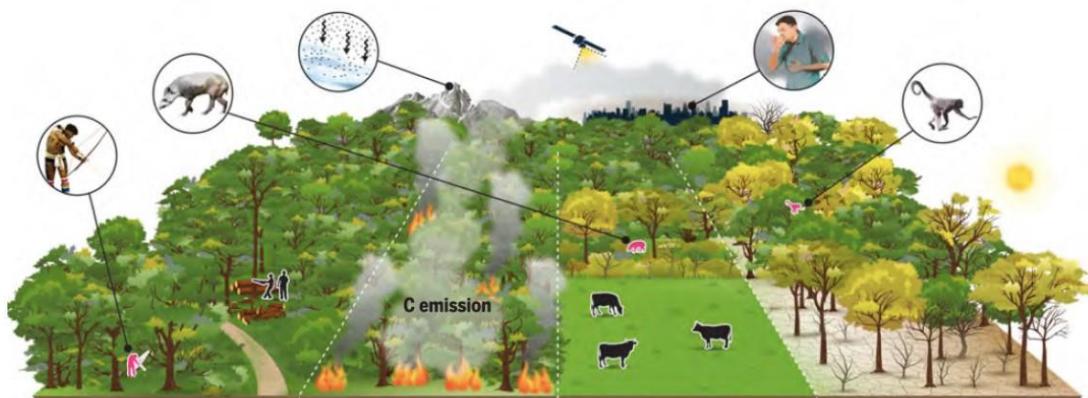
La Iniciativa de REDD+, define los drivers de deforestación y degradación como actividades humanas inmediatas que impactan directamente la cobertura forestal y dan como resultado la pérdida de reservas de carbono (Kissinger et al., 2012). Geist & Lambin (2001), sugieren que estas causas inmediatas, o drivers próximos, son los que “directamente inciden en el evento de deforestación a escala local o puntual”. En otras palabras, son los factores de impacto directo en el proceso de deforestación (Rae, 2018). En la Ilustración 6 se muestra “la visión general de los procesos de degradación de los bosques tropicales en la Amazonía” según el artículo *The drivers and impacts of Amazon forest degradation* de la revista (*Science*) publicado en el 2023:

“Los impulsores subyacentes (demanda de madera y productos agrícolas; falta de gobernabilidad y corrupción; elementos culturales; migración y crecimiento de la población; cambio climático global) estimulan las perturbaciones (extracción de madera, incendios, efectos de borde y sequía extrema) que causan la degradación forestal. Un satélite ilustra los intentos de estimar la extensión espacial de la degradación y las pérdidas de carbono asociadas. Los impactos (en rojo y recuadros) son locales (causando pérdidas de biodiversidad o afectando los medios de subsistencia de los habitantes de los bosques) o remotos, por ejemplo, con el humo afectando la salud de las personas en las ciudades o provocando el

³ A partir de la definición de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) del paisaje como “un mosaico geográfico formado por ecosistemas que interactúan como resultado de la influencia de las interacciones geológicas, topográficas, edáficas, climáticas, bióticas y humanas en un área determinada”. Las definiciones de lo que es un “paisaje” de diferentes publicaciones varían desde menos de 1 ha a más de 200.000 ha. Sin embargo, en general se considera el paisaje como una unidad de tierra de gran escala. Una opción para determinar el tamaño de un paisaje podría ser simplemente elegir un tamaño de unidad que abarque el área de interés de p. ej. 25.000 a 100.000 ha. Una segunda opción para definir el paisaje podría ser el uso de un radio a partir del área de interés (p. ej. en un área que se vaya a manejar) en función de las distancias claves máximas de movimiento. Por ejemplo, se ha observado que las aves forestales amazónicas raramente se mueven más allá de una distancia de aproximadamente cinco kilómetros (Van Houtan et al., 2007, citado en Rosoman, 2015, p. 74).

derretimiento de los glaciares andinos debido a la deposición de carbono” (Lapola et al., 2023, p.23).

Ilustración 6: Impulsores o drivers de la deforestación del Amazonas



De izquierda a derecha: Extracción de madera, incendios, efectos de borde, sequía extrema.
Imagen: The drivers and impacts of Amazon forest degradation.

Fuente: Lapola et al., 2023. Crédito: Alex Argozino/Studio Argozino

Algunos autores analizan “la transición de bosque a no bosque o deforestación” (González et al., 2011, p. 12), enfocándose en factores ambientales y con análisis someros de los factores sociales y económicos. No obstante, es necesario tener en cuenta la complejidad del trasfondo, para identificar las motivaciones de los diferentes agentes para realizar el cambio de coberturas, y, yendo más allá, conocer la percepción que tienen sobre la disminución del bosque. Las motivaciones de los agentes transformadores del bosque son parte de las causas, las cuales, pueden ser directas o indirectas o subyacentes (Hosonuma et al., 2012; Geist & Lambin, 2001).

Las primeras incluyen actividades humanas locales, como el establecimiento de cultivos o la apertura de vías, que determinan el uso del suelo y, por ende, afectan la cobertura. Las subyacentes, en cambio, “son procesos sociales, como la dinámica de la población humana o las políticas agrícolas y de recursos naturales, que inciden en las causas directas y se ejercen a nivel local, nacional o global” (Erasso & Vélez, 2020, p. 4). Estas, en combinación con la falta de planificación del suelo y la ineficacia de la aplicación de la ley, crean el entorno propicio para que se desarrollen los impulsores (Geist & Lambin, 2001; Goetz et al., 2015).

Hay estudios que afirman que “no hay una política pública válida universalmente para evitar la deforestación” (López, 2012, p. 9). En razón a esto “es importante conocer de manera específica las causas del cambio del suelo en cada territorio particular. Es decir, las relaciones causales son complejas y se requiere el estudio del uso del suelo a nivel micro en las comunidades locales” (López et al., 2020, p. 95).

Según Durand & Lazos (2008), al caracterizar las diferencias conceptuales en la forma en que se percibe el ambiente se pueden resolver tensiones que contribuyen a conflictos ambientales que ponen en peligro el éxito del esfuerzo de conservación. Estos investigadores anotan que el estudio de percepciones ambientales puede mejorar las políticas de conservación al indicar prioridades basadas en la dinámica de intereses socioculturales y políticas locales, destacando sus deseos, preocupaciones y compresión de la problemática. La medición de la percepción de la conservación real es distinta de la medición empírica porque la primera produce datos que son subjetivos, fluidos y están conectados íntimamente al contexto cultural (Durand & Lazos, 2008).

2.3.1 Monitoreo forestal y detección de impulsores (drivers)

Las tecnologías de monitoreo forestal por medio de teledetección permiten identificar los impulsores de deforestación, porque facilitan atribuir la pérdida de bosques a usos particulares del suelo mediante detección de firmas espectrales (Goetz et al., 2015). La literatura sobre los impulsores de la deforestación distingue entre los impulsores inmediatos, que generan las causas directas y las subyacentes. Los inmediatos o directos son las actividades y acciones humanas que impactan directamente en la cubierta forestal, por ejemplo, la expansión agrícola o la tala de árboles para obtener madera (Hosonuma et al., 2012; Geist & Lambin, 2001). Los subyacentes o indirectos son complejas interacciones sociales, económicas, políticas, culturales y procesos tecnológicos que afectan a los pobladores próximos a causar deforestación. Actúan a múltiples escalas: internacional (mercados, precios de materias primas), nacional (crecimiento de la población, mercados internos, políticas, gobernanza) y circunstancias locales (subsistencia, pobreza). Muchos países identifican la falta de gobernanza, la falta de coordinación intersectorial y las actividades ilegales (relacionadas con pobre control estatal) como críticas. El crecimiento demográfico, la pobreza y la tenencia insegura de los predios también se citan (Kissinger et al., 2012; Goetz et al., 2015; Geist & Lambin, 2001).

Los impulsores y los agentes correspondientes pueden considerarse relativamente sencillos de cuantificar dentro de límites espacio - temporales definidos (Carodenuto et al.,

2015). En este aspecto, es útil la teledetección, que permite identificar las fuentes de diferentes tipos de perturbaciones (extracción de madera, tala para la agricultura migratoria u otros procesos de conversión y degradación forestal). No obstante, en la identificación de la causa no va a ser posible solo con técnicas de teledetección, porque, aunque estas permiten saber que ha ocurrido un cambio, o qué cubierta hay en la actualidad, es necesario entablar conversaciones con las personas involucradas para comprender las motivaciones que condujeron al cambio.

La mayoría de las veces es posible hacer coincidir los patrones de deforestación con indicaciones obvias de actividad humana, como la extensión de carreteras hacia las áreas afectadas. Los datos sobre la propiedad de la tierra y los derechos de uso del suelo, si están disponibles, pueden proporcionar información adicional sobre la probabilidad de atribución precisa a los agentes humanos como agentes de cambio. “El uso del suelo en áreas recientemente deforestadas o alteradas también se puede identificar mediante un análisis estadístico que relaciona los patrones y la textura de la superficie del terreno con áreas donde ya se ha atribuido la deforestación y la degradación al uso humano de la tierra” (Goetz et al., 2015, p. 16).

Los autores Curtis et al. (2018), desarrollaron un modelo de árbol de decisiones que predice la causa más probable de perturbación del bosque en cualquier celda de cuadrícula de 10 km × 10 km alrededor del mundo desde el año 2000. Las categorías que asignaron fueron de acuerdo con la perturbación dominante. Por lo tanto, cada una representa una dinámica forestal y de uso del suelo (Curtis et al., 2018):

- (i) Deforestación impulsada por productos básicos, definida por el largo plazo, conversión permanente de bosques y matorrales a un uso del suelo no forestal como la agricultura (incluida la palma de aceite), la minería o la infraestructura energética.
- (ii) Agricultura migratoria, definida como conversión de bosques y matorrales a mediana escala para la agricultura que luego se abandona y seguido por el subsiguiente rebrote del bosque.
- (iii) Silvicultura, definida como operaciones forestales a gran escala que ocurren dentro de bosques manejados y plantaciones forestales con evidencia de crecimiento forestal en años subsecuentes.

- (iv) Incendios forestales, definidos como la pérdida de bosques a gran escala resultante de la quema de vegetación forestal sin conversión humana visible o actividad agrícola posterior.

La Ilustración 7 presenta el marco metodológico propuesto por Carodenuto et al. (2015), que consiste en un enfoque escalonado para evaluar los impulsores, es decir, los agentes y las causas subyacentes de la deforestación dentro de un área específica y claramente delimitada.

Ilustración 7: Método de evaluación de los “drivers” de la deforestación



Fuente: adaptado de Carodenuto et al., 2015

2.3.2 Las causas y los agentes de la deforestación en el orden nacional de Colombia

En el proceso de caracterizar las causas de la deforestación, el estado colombiano establece el uso de la metodología diseñada por el IDEAM y el MINAMBIENTE en el documento denominado “Lineamientos conceptuales y metodológicos para la caracterización de causas y agentes de la deforestación en Colombia” (González et al., 2018a, p. 1). Estas entidades realizaron esta publicación para superar una serie de debilidades que identificaron en los estudios disponibles de caracterización y el monitoreo de causas de deforestación en el territorio nacional. La aplicación de la metodología consiste, en que, a partir de estudios fiables de caracterización se hace una discriminación de las causas directas de la deforestación, pero también de las causas subyacentes y de los agentes. El IDEAM plantea que la deforestación es una cadena de eventos la cual se puede visualizar en la Ilustración 8.

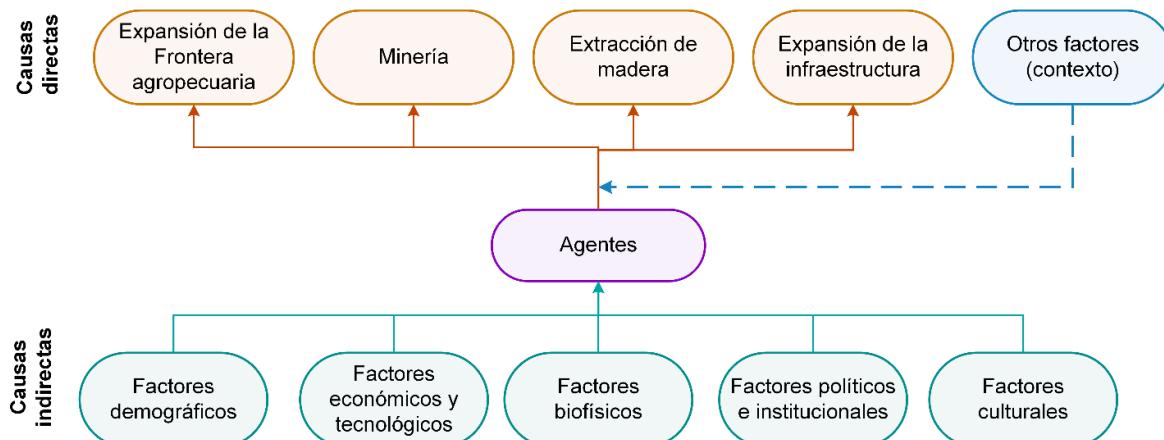
Ilustración 8: Cadena de eventos de la deforestación



Fuente: adaptado a partir de IDEAM, 2018

Las causas directas de la deforestación y degradación de los bosques, que se pueden ver en la Ilustración 9, son aquellas actividades que causan directamente la transformación de estos. Su origen está en el uso del suelo y afectan la cobertura forestal mediante el aprovechamiento del recurso arbóreo, o su eliminación para dar paso a otros usos (Ojima et al., 1994; Geist & Lambin, 2001; Kanninen et al., 2008). En síntesis, son el “¿cómo lo hacen?”. Su identificación permite entender cómo se transforma el bosque (González et al., 2018a; IDEAM, 2018). Mientras que las causas subyacentes son aquellos factores que llevan a los agentes a transformar el bosque, que los motiva, es decir, “¿por qué?”. Son factores que refuerzan las causas directas de la deforestación (Kaimowitz & Angelsen, 1998; Geist & Lambin, 2001; Kanninen et al., 2008).

Ilustración 9: Agentes y lista de causas directas y subyacentes de la deforestación en Colombia



Fuente: adaptado a partir de IDEAM, 2018

Dentro de las causas directas, destacan la expansión de la frontera agropecuaria para establecimiento de cultivos de coca, la praderización, y la extracción de la madera. La producción agrícola de coca no es el responsable directo de la mayor deforestación en el área, pero sí constituye una de las principales actividades económicas que perfora el bosque para dar paso a otros usos del suelo con mayor impacto en la cobertura forestal (IDEAM, 2018, p. 132). En lo que respecta a la praderización, en la Amazonía:

“Los pastos se establecen sin una actividad productiva, o bien con una presencia mínima (o prácticamente simbólica) de ganado. El establecimiento de estas pasturas responde a una progresión de cambio de cobertura que inicia con la fragmentación de los bosques, pasando por mosaicos de pastos y bosques, vegetación secundaria y, finalmente, grandes pastizales” (IDEAM, 2018, p. 134).

La Tabla 2, la Tabla 3 y la Tabla 4, discriminan a detalle las causas directas de la deforestación identificadas para Colombia.

Tabla 2: Causas directas: expansión de la frontera agropecuaria

Expansión de la frontera agropecuaria	Producción agrícola	De coca	
		Incluye coca	
	Praderización	Tenencia de la tierra	
		Renta	
		Venta agrícola	
		Venta pecuaria	Ganado de carne Ganado de leche Doble propósito
	Producción agropecuaria	Autoconsumo agrícola	
		Autoconsumo pecuario	Ganado de carne Ganado de leche Doble propósito

Fuente: adaptado a partir de González et al., 2018^a

Aunque los aprovechamientos forestales selectivos, frecuentes y abundantes “no representa un proceso extensivo de deforestación, es importante considerar la magnitud de poblaciones de especies vegetales amenazadas y la degradación de los bosques a raíz de la práctica” (IIAP, 2016, p. 154)

Tabla 3: Causas directas: extracción de madera

Para autoconsumo		
Extracción de madera	Para la venta	Extracción ilícita
		Manual
	Extracción lícita	Mecanizada
		Manual
		Mecanizada

Fuente: adaptado a partir de González et al., 2018a

Tabla 4: Causas directas: factores biofísicos

Factores biofísicos	Remociones en masa
	Inundaciones
	Incendios naturales
	Acciones bélicas

Fuente: adaptado a partir de González et al., 2018a

En la Tabla 5, Tabla 6 y en la Tabla 7 se discrimina la nomenclatura de agentes de la deforestación establecidos para Colombia.

Tabla 5: Agentes de expansión de la frontera agrícola

Expansión de la frontera agropecuaria producción agrícola	Productor agrícola DE coca	Para venta	Permanente
		Para autoconsumo	Reciente
			Intermitente
	Productor agrícola CON cultivos de coca	Para venta	Permanente
		Para autoconsumo	Reciente
			Intermitente
		Productor agrícola con cultivos para la venta y coca	Con cultivos industriales para la venta y coca
	Productor agrícola CON cultivos de coca para la venta		Con cultivos tradicionales para la venta y coca
		Productor agrícola con cultivos para la venta y coca	Cultivos coca permanentes para la venta
			Cultivos coca intermitente para la venta
	Productor agrícola con cultivos para autoconsumo y coca		Cultivos coca recientes para la venta
		Productor agrícola con cultivos para autoconsumo y coca	Con cultivos tradicionales para autoconsumo y coca
			Productor agrícola reciente con coca para autoconsumo y otros cultivos
	Productor agrícola con coca para autoconsumo y otros cultivos	Productor agrícola con coca para autoconsumo y otros cultivos	Productor agrícola intermitente con coca para autoconsumo y otros cultivos
			Productor agrícola permanente con coca para autoconsumo y otros cultivos

Fuente: adaptado a partir de González et al., 2018^a

Dentro de los factores subyacentes destacan el crecimiento poblacional, los mercados domésticos, las políticas nacionales e incentivos fiscales, la débil gobernanza institucional, la baja coordinación intersectorial y la pobreza. En este orden de ideas, los agentes son las personas, grupos o instituciones que toman la decisión de transformar el bosque, es decir, ¿quién? (IDEAM, 2018).

Tabla 6: Agentes de expansión de la frontera pecuaria

Expansión de la frontera agropecuaria producción pecuaria	Productor pecuario	Productor pecuario con ganado de leche para la venta
		Productor pecuario con ganado de carne para la venta
		Productor pecuario con ganado de doble propósito para la venta
		Productor pecuario con otros productos para la venta
		Productor pecuario con ganado de leche para autoconsumo
	Productor pecuario con productos para autoconsumo	Productor pecuario con ganado de carne para autoconsumo
		Productor pecuario con ganado de doble propósito para autoconsumo
		Productor pecuario con otros productos para autoconsumo
	Praderizador	Para rentar la tierra Para acaparar la tierra

Fuente: adaptado a partir de González et al., 2018^a

Tabla 7: Agentes en la extracción de madera

Extracción de madera	Extractor ilícito de madera para la venta	Extractor ilícito manual de madera para la venta
		Extractor ilícito mecanizado de madera para la venta
	Extractor lícito de madera para la venta	Extractor lícito manual de madera para la venta
		Extractor lícito mecanizado de madera para la venta
	Extractor de madera para autoconsumo	

Fuente: adaptado a partir de González et al., 2018a

2.3.3 Esfuerzos del estado Colombiano para combatir a los impulsores de la deforestación

Cuando se plantea que el recurso forestal se mantenga en el tiempo tanto en cantidad como en calidad, se está hablando de desarrollo forestal sostenible, y precisa de:

“Cambios en la producción o distribución de los bienes y servicios que se desea obtener de bosques y árboles y que redunda, para una determinada población elegida como objetivo, en un incremento del bienestar capaz de mantenerse en el curso del tiempo” (FAO, 2021, p. 1).

El desarrollo forestal sostenible implica la producción de los bienes y servicios que desea la población, junto con la protección de la base de recursos naturales de la que depende dicha producción. En aras de esta protección, es que las Corporaciones Autónomas Regionales tienen por objeto asegurar que el interesado en utilizar el recurso en un área forestal productora desarrolle su actividad de forma planificada para así garantizar el manejo adecuado y el aprovechamiento sostenible del recurso (Decreto 1076 de 2015). Esto busca que se tenga un control sobre el cambio de cobertura del suelo. A continuación, se enuncian los esfuerzos del gobierno nacional relevantes para la zona de estudio, en lo que respecta a evitar el cambio de cobertura del suelo.

(i) Praderización

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MINAGRICULTURA) creó una plataforma virtual en su sitio web para incorporar los aportes relacionados con la construcción del Pacto Intergeneracional por la Vida de la Amazonía Colombiana (PIVAC). El objetivo de dicha herramienta era contrarrestar la deforestación de la Amazonía (MINAGRICULTURA, 2021). El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MINAMBIENTE) por su parte diseñó la “Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques - EICDGB” como instrumento de política transectorial para detener la deforestación y degradación de los bosques (MINAMBIENTE-IDEAM, 2018). Una de las líneas de acción de la EICDGB es el desarrollo de una economía forestal para el cierre de la frontera agropecuaria, que prevé, entre otras, desarrollar acuerdos de cero deforestación con cadenas de producción agropecuaria y desarrollar e implementar modelos agroambientales en las franjas de estabilización rural de la frontera agropecuaria. Los responsables de implementar la EICDGB son el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la Agencia Nacional de Tierras (ANT), la Agencia de Desarrollo Rural (ADR), la Comisión Intersectorial para el Control de la Deforestación y la Gestión Integral para la Protección de Bosques Naturales (CICOD), Consejos Municipales de Desarrollo Rural (CMDR), Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA) (Güiza, 2021).

El objetivo que persigue el gobierno nacional es el de fomentar una economía forestal basada en los bienes y servicios de los bosques para el desarrollo rural integral y el cierre de la frontera agropecuaria. Las medidas para lograrlo son (MINAMBIENTE-IDEAM, 2018, p. 81):

- “Desarrollo e implementación de un programa de forestería comunitaria basado en la asociatividad y cadenas de valor de bienes y servicios del bosque.
- Desarrollar acuerdos cero deforestación con cadenas de producción agropecuaria y forestales
- Integración del manejo forestal sostenible asociado a los bienes y servicios del bosque y el cierre de la frontera agropecuaria en el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) (Ley 1876 de 2017) y sus instrumentos.
- Desarrollar e implementar modelos agroambientales en las franjas de estabilización rural de la frontera agropecuaria.
- Gestión transectorial para la estabilización de la frontera agropecuaria.
- Promoción de iniciativas de reforestación producción forestal comercial integrando las acciones para el cierre de la frontera agropecuaria”.

En cuanto a la ejecución de las acciones precisas del Ministerio, en el Plan de Acción hay varios avances, dentro de los cuales se encuentran (MINAGRICULTURA, 2021):

- La divulgación del concepto de cadenas cero deforestación en el mercado nacional y la sensibilización de los diferentes actores de la cadena respecto a la relevancia e impacto de la no deforestación en la provisión de servicios ambientales;
- La identificación de los cuellos de botella en las cadenas productivas de cacao, caucho, carne y leches (del sistema ganadero doble propósito) y productos no maderables del bosque;
- El incentivo a los productores y campesinos de la región de Caquetá y Guaviare, para que generen procesos de transformación de las cadenas productivas de cacao, caucho, carne y leches (del sistema ganadero doble propósito) y productos no maderables del bosque;
- La identificación de aliados comerciales, para acceder a mejores mercados con productos diferenciales; esto entre otras acciones.

Cabe mencionar en este apartado la línea de acción 1 de la “política nacional para el control de la deforestación y la gestión sostenible de los bosques”, que trata sobre la trazabilidad pecuaria, que tiene una relación directa con la praderización:

“Uno de los factores relevantes para focalizar los procesos de reconversión productiva y hacer seguimiento a la deforestación en áreas ambientalmente estratégicas, es la trazabilidad pecuaria, en este sentido el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) e IDEAM, a partir del 2022 desarrollará un mecanismo de interoperabilidad de las bases de datos de vacunación y guías sanitarias de movilización, registradas por el ICA, con el SMByC, el Sistema de Información de Planificación Rural Agropecuario (SIPRA), y la Estrategia del Sistema Nacional Unificado de Información Agropecuario (SNUIRA). Para lo anterior y como primer paso de articulación el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural expedirá un acuerdo de confidencialidad para que las entidades vinculadas a esta acción puedan hacer uso de la información” (COMPES, 2020, p. 61).

(ii) Cultivos ilícitos

En la lucha contra los cultivos ilícitos el Ejército Nacional es determinante. Este cuenta actualmente con cuatro batallones contra el narcotráfico, para el 2018 contó con 56 oficiales de ejército especializados en temas ambientales, 281 gestores ambientales y 7.454 soldados capacitados en servicio ambiental además del nuevo servicio militar obligatorio se destina el 10% de las personas incorporadas para el servicio militar ambiental. En 2017 la Policía Nacional, con apoyo de la Embajada de los Estados Unidos, puso en marcha el Sistema Integrado de Información y Monitoreo Antinarcóticos (SIIMA) con el objetivo de procesar, analizar y suministrar información georreferenciada sobre cultivos ilícitos, y evaluar y dirigir el trabajo de los uniformados (Güiza, 2021). Cabe mencionar lo planteado por la política para el control de la deforestación, la cual indica que:

“El Ministerio de Defensa Nacional, entre el 2021 y 2022 diseñará la creación de la fuerza de protección integral ambiental, con el propósito de contrarrestar el accionar de los Grupos Armados Organizados (GAO) y proteger de amenazas internas y externas los recursos hídricos, la biodiversidad y el medio ambiente y así evitar que las economías ilícitas sigan destruyendo los activos estratégicos de la Nación” (COMPES, 2020, p. 74).

(iii) Extracción ilícita de minerales

La Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y el Ministerio de Minas y Energía, en asociación con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo y participación del Ministerio del

Interior y del Ministerio del Trabajo y Servicio de Empleo, desarrollaron la construcción de la “Estrategia Territorial para la Gestión Sostenible y Equitativa del Sector Hidrocarburos (ETH)”. Los impactos sobre el medio ambiente de esta estrategia sobresalen, entre otras cosas, porque uno de los objetivos del área estratégica de gobernanza democrática, incluyente y efectiva fue identificar actividades alternativas a la extracción y explotación de hidrocarburos; y uno de los objetivos del área estratégica de Hábitat, medio ambiente y agua fue desarrollar una cultura de protección al medio ambiente (Güiza, 2021).

Por su parte, el IDEAM ha logrado firmar múltiples sub-acuerdos y convenios de co-ejecución para el apoyo a la conservación de áreas de bosque natural, afectadas, entre otras, por la extracción ilícita de minerales además el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI), junto con el IDEAM, avanza en el monitoreo de 362 acuerdos de conservación suscritos, que permitirán la conservación de 11.257 ha de bosque (Güiza, 2021).

El Fondo Mundial para el Medio Ambiente Mundial (GEF) financió el Programa “Paisajes Sostenibles de la Amazonía, iniciativa Conservación de Bosques y Sostenibilidad en el Corazón de la Amazonía”, llevado a cabo por diversas entidades del Estado colombiano con el objetivo de “mejorar la gobernabilidad y promover actividades sostenibles de uso del suelo con el fin de reducir la deforestación y conservar la biodiversidad” (Güiza, 2021, p. 167).

(iv) Control y regulación de acceso al bosque

El acceso al bosque es un aspecto especialmente difícil de controlar por parte de las autoridades ambientales. La variedad de actores, la extensión del territorio, entre otros aspectos, pueden exceder las capacidades de las corporaciones. El gobierno nacional no es ajeno a ello, por ende, a finales del 2020 fue aprobada la “política nacional para el control de la deforestación y la gestión sostenible de los bosques”⁴, que tiene como una de sus cuatro líneas estratégicas “promover estrategias de prevención y control territorial para reducir las dinámicas ilegales”. Aunque estas estrategias están dirigidas a los Núcleos de

⁴ Esta política focaliza acciones previstas bajo la Estrategia Integral de Control de la Deforestación y Gestión de los Bosques (EICDGB), se articula con la Sentencia STC 4360- 2018 de la Corte Suprema de Justicia Amazonía sujeto de derechos y está alineada con los compromisos internacionales del país como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la implementación del Acuerdo de París sobre cambio climático, y las metas de la Declaración Conjunta de Intención (DCI), entre otros. Esta política se implementará durante un horizonte de tiempo de 10 años (2020-2030) y comprende acciones específicas de carácter intersectorial

Alta Deforestación, la política menciona la importancia de tenerlas en cuenta en otras áreas, si la autoridad ambiental considera recomendable su adopción.

La “Estrategia de control territorial y reducción de las dinámicas ilegales que impulsan la deforestación” cuenta con varias líneas de acción enfocadas en articular los instrumentos de comando y control en Núcleos de Alta Deforestación (NAD) y áreas estratégicas de conservación de bosque natural. En esta línea se busca mejorar la gestión del Estado, en relación con el control de la deforestación, siendo el principal eje articulador el Consejo Nacional de Lucha Contra la Deforestación (CONALDEF⁵). Una vez robustecida las capacidades de las instituciones e integrada la información, la política indica como segundo hito:

“Desarrollar mesas de trabajo que permitan la articulación interinstitucional para la implementación de los procesos administrativos sancionatorios, policivos y de investigación penal y disciplinaria en relación con los motores ilegales de deforestación como cultivos ilícitos, accesos terrestres y pistas ilegales, acaparamiento de tierras y lavado de activos, entre otros. Finalmente, como resultado de los procesos de articulación, inteligencia e investigación, se desplegarán las capacidades de la Fuerza Pública sobre los núcleos de deforestación, acorde a las competencias de las instituciones intervenientes, que cada vez más permitan tomar medidas anticipadas a los hechos de deforestación” (CONPES, 2020, p. 74).

La mencionada política también indica que, la Policía Nacional tendrá un cuerpo especializado de Policía Ambiental encargado de prestar apoyo a las autoridades ambientales, a los entes territoriales y a la comunidad, en la defensa y protección del medio ambiente y los recursos naturales renovables.

(v) Prevención y control de incendios forestales

El “Plan nacional de prevención, control de incendios forestales y Restauración de Áreas Afectadas” (IDEAM, 2002, p. 1) menciona que las áreas boscosas, especialmente las de la Amazonía, han sido modificadas por causa de la deforestación y la utilización de quemas

⁵ Creado por la Ley de 1955 de 2019, mediante la cual se expide el PND 2018-2022, el CONALDEF está integrado por el Ministerio de Defensa Nacional, Ministerio de Justicia y del Derecho, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Procuraduría y Fiscalía.

para habilitar áreas agropecuarias dentro de los procesos de colonización. En las dos últimas décadas (del 2000 al 2020), las quemas se han utilizado para la incorporación y adecuación de mayores áreas para cultivos ilícitos. A principios de la década del 2000, las autoridades ambientales planteaban que en el área de estudio los incendios forestales se daban a muy baja escala (MAVDT, 2002), pero con el tiempo se ha dado un preocupante incremento en la cantidad y magnitud de los incendios.

Las acciones que toma CORPOAMAZONIA, que son de carácter preventivo, incluyen prohibir temporalmente en los departamentos de Amazonas, Caquetá y Putumayo: las quemas abiertas controladas que se realizan en zonas rurales para la preparación de terrenos y actividades productivas y las fogatas domésticas o con fines recreativos. Además, para establecer el Plan de Contingencia según el caso y otras medidas, recomienda, sobre todo en época del niño⁶, activar los consejos departamentales y municipales de gestión del riesgo por parte de las gobernaciones y alcaldías de la jurisdicción (CORPOAMAZONIA, 2015).

Dentro de los instrumentos para atender las dinámicas relacionadas con el fuego, está la Resolución 532 de 2005 “Por la cual se establecen requisitos, términos, condiciones y obligaciones, para las quemas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras” (Resolución 532 del 26 de abril del 2005 del MAVDT, p. 1) y el “sistema para el monitoreo de puntos de calor sobre la superficie detectados satelitalmente” del SMByC del IDEAM (IDEAM, 2021). Este sistema es una plataforma de consulta sobre los últimos, o históricos, focos de calor detectados satelitalmente en el territorio Colombiano, lo que sirve para identificar puntos de calor discriminando fecha y región o descargar reportes mensuales de área quemada desde el 2010 hasta el año actual, aunque tiene un retraso promedio de tres meses este sistema es la base para entes de control y vigilancia del país.

Dentro de los esfuerzos de CORPOAMAZONIA, se encuentra un acompañamiento técnico permanente a las administraciones municipales a través de los Comités Locales de Atención y Prevención de Desastres (CLOPAD) como mecanismo para evitar la presencia de incendios en estos frágiles ecosistemas, en Atención, Prevención y Control de Incendios Forestales, la entidad CORPOAMAZONIA manifiesta la necesidad de que los organismos de socorro tengan en cuenta la presupresión que son la serie de actividades que se realizan antes de la temporada de incendios. Para asegurar una efectiva supresión de estos

⁶ Este fenómeno de variabilidad climática, asociado a aumento de temperaturas del aire y disminución de lluvia en relación con el promedio histórico mensual (CORPOAMAZONIA, 2015, 2).

siniestros explica los cuatro elementos importantes para tener en cuenta (CORPOAMAZONIA, 2021):

- Reclutar y adiestrar personal que trabajará en el combate de incendios.
- Conseguir y mantener disponible el equipo y materiales para el combate de los incendios.
- Manejo de combustibles, caminos, puntos de agua, líneas de control y helipistas alternas.
- Finanzas.

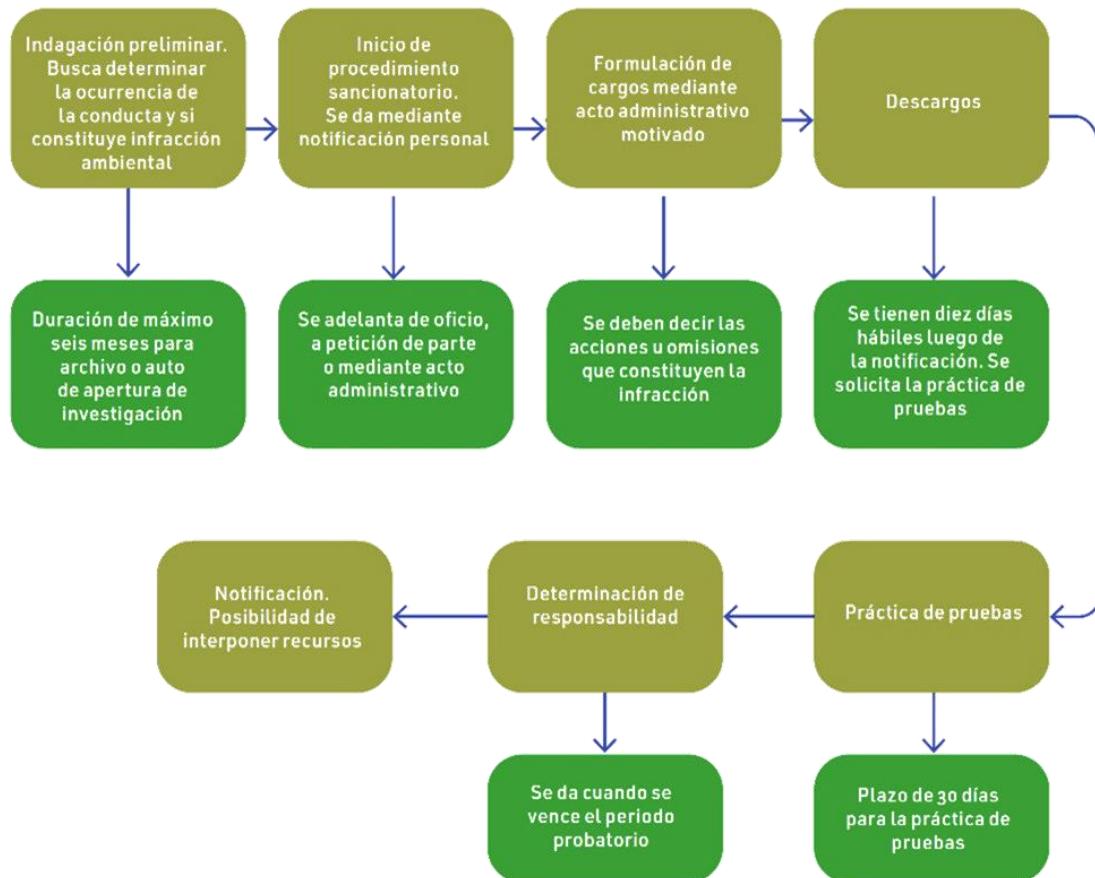
(vi) Entidades competentes en los procesos penales relacionados con los diferentes motores de deforestación

En lo que respecta a la aplicación de medidas sancionatorias, en específico los procesos penales (cuyo proceso secuencial se presenta en el Anexo 1) relacionados con los motores de la deforestación en Colombia, están bastante limitados a la participación de la Fiscalía, el juez, el Ministerio Público y Defensa. Sin embargo, otras entidades públicas pueden tener un papel preponderante dentro de él. En el Anexo 2 se relacionan algunas de las entidades más importantes, que tienen competencia en la sanción de delitos por deforestación⁷.

En el proceso de investigación de los delitos forestales, resulta de gran importancia el proceso sancionatorio llevado a cabo por la autoridad ambiental correspondiente, cuyo paso a paso se presenta en la Ilustración 10. Es en dicho proceso sancionatorio donde se recaban gran parte de las pruebas que pueden ser de utilidad en el correspondiente proceso penal. Al respecto, el artículo 21 de la Ley 1333 de 2009 establece que, si los hechos en materia del procedimiento sancionatorio fueren constitutivos de delito, la autoridad ambiental pondrá en conocimiento a las autoridades correspondientes de los hechos y acompañará copia de los documentos pertinentes.

⁷ Se sugiere remitirse a la fuente si se desea profundizar en el papel que juegan los Ministerios de Minas, Agricultura; los institutos de investigación (SINCHI y Humboldt), Parques Nacionales, UPRA, ANT, entre otras

Ilustración 10: Proceso sancionatorio ambiental



Fuente: Güiza, 2021

Al momento de sensibilizar a las comunidades en las consecuencias del manejo de fauna y flora sin permiso de la autoridad ambiental o la explotación de minerales sin permiso, se pueden presentar los siguientes enunciados (Güiza, 2021, p. 181):

- "En cuanto al delito de ilícito aprovechamiento de recursos naturales renovables:
1. El solo transporte de material vegetal sin el correspondiente salvoconducto se adecúa al tipo penal. No se requiere demostrar que fue la persona que cortó los árboles para que se configure el delito.
 2. El que transporte productos maderables sin el respectivo salvoconducto comete el delito de ilícito aprovechamiento de recursos naturales renovables.
 3. El que transporte y comercialice especies silvestres comete el delito de ilícito aprovechamiento de recursos naturales renovables.

4. El que tale árboles sin el debido permiso de aprovechamiento forestal incurre en el delito de ilícito aprovechamiento de recursos naturales renovables.

En cuanto al delito de explotación ilícita de yacimiento minero y otros materiales:

1. Cualquier persona que participe junto con otras en la extracción ilícita de recursos minerales es coautora de esta conducta.
2. El arreglo de vías y trabajos en fincas soportadas en contratos no constituye minería ilegal

Estos enunciados son fruto del siguiente proceso, realizado por el Consejo Superior de la Judicatura:

A través de una solicitud realizada por el despacho de la honorable magistrada (...), del Consejo Superior de la Judicatura, se les requirió a los Consejos Seccionales de Nariño, Mocoa, Chocó, Antioquia, Putumayo, Caquetá, Valle y Meta para que estos, a su vez, les solicitaran a los Tribunales Superiores, Administrativos, de Restitución de Tierras y Juzgados Promiscuos Municipales las decisiones judiciales que se han proferido en los últimos años (2017 - 2020) y que se relacionan de manera directa o indirecta con casos de deforestación. Al final, se recibieron trece sentencias que imponían condenas relacionadas con casos de deforestación en estas regiones”.

De los casos indicados en el párrafo anterior, el autor plantea que todos concluyeron en una condena previa por aceptación de cargos por parte de los sindicados, siendo dos los delitos tipificados: ilícito aprovechamiento de recursos naturales renovables y explotación ilícita de yacimiento minero y otros materiales. La mediana en el tiempo transcurrido entre la audiencia de legalización de captura y la sentencia condenatoria de primera instancia para estos delitos fue de veinte meses. Asimismo, se evidencia que en ningún caso se profirió una condena con privación de la libertad, puesto que se aplicaron los subrogados penales. También se encontró que las multas impuestas por lo general correspondieron a la mínima establecida en el código penal para estas conductas (Güiza, 2021).

2.4 MÉTODOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS COBERTURAS Y DETECCIÓN DE CAMBIOS

La habilidad de detectar y cuantificar coberturas del suelo depende en gran medida de las capacidades del sensor y la categorización de cada píxel en una o más clases temáticas (Cabrera et al., 2011).

2.4.1 Detección de los cambios de coberturas del suelo

La variedad de contextos y de necesidades por las cuales se adelanta la detección de cambios tanto de cobertura como de uso del suelo son múltiples, lo que lleva a que existan variados métodos para detectar los cambios. A continuación, se resumen cinco maneras de abordarlas (Rodríguez, 2011):

- Evaluar la variación espacial del cambio de cubierta del suelo en función de la dimensión socioeconómica y de los aspectos físicos del territorio.
- Usar modelos de regresión, los cuales, a partir de hipótesis de la dinámica de una serie de características identificadas de cambio, permiten establecer proyecciones a futuro.
- Usar modelos descriptivos (identifican los patrones de uso y simulan los métodos de uso del suelo) respecto a los prescriptivos (sugieren mejoras en los usos para cumplir unos objetivos); la cuarta opción, es usar una correlación estadística, alimentada por variables explicativas para entender los procesos de cambio (proceso deductivo), o, el establecimiento de reglas por parte de agentes de decisión (proceso inductivo).
- Por último, está la opción de basarse en agentes o basarse en píxeles, siendo estos, la unidad de análisis de cambio, es decir, puede ser un polígono que representa la categoría de uso o la unidad de toma de decisiones.

Otros autores indican que, para analizar el cambio de cobertura del suelo, puede abordarse de tres maneras (Geist & Lambin, 2001):

- Realizar un metaanálisis que nos proporcione un panorama general a escalas meso y macro de los procesos de cambio en determinados contextos geográficos.
- Identificar hotspots o puntos críticos de cambio de cobertura en los cuales se busca identificar variables explicativas.
- Determinar patrones de cambio de cobertura del suelo ante diferentes escenarios tendenciales, a partir de modelos espaciales.

2.4.2 La teledetección como método de detección de cambios de coberturas

El interés en la investigación tanto de las coberturas como de los usos ha tomado especial relevancia con los años, debido a que son condicionantes del cambio ambiental global. “El proceso de cómo y por qué cambian los usos del suelo es el factor más importante en la transformación ambiental” (Badia et al., 2019, p. 186). Este tipo de investigación se caracteriza por ir más allá del estudio de la ecología y tener en cuenta los sistemas socioambientales (SES), para así, identificar por qué los humanos modifican su entorno de tal forma que alteran la estructura de los ecosistemas (Verburg et al., 2011).

Los cambios en los usos y las cubiertas del suelo se convierten en factores prioritarios de estudio, porque “toda gestión y planificación que pretenda evitar o solucionar impactos en el medio ambiente, requiere un análisis de la evolución de los usos y las cubiertas del suelo y los cambios en la estructura del paisaje” (CREAF, 2022, p. 1). Esta preocupación llevó a la formalización en 1994 del Land Use Land Cover Change (LULCC) (cambio de uso del suelo / cobertura del suelo), cuyo propósito fundamental es “identificar situaciones de cambio de cobertura a gran escala, desarrollar un protocolo de investigación y generar evaluaciones sistemáticas de las situaciones para identificar los principales impulsores de diferentes cambios para mejorar las proyecciones futuras” (Turner II et al., 2021, p. 1291). Esta propuesta sentó las bases de la investigación científica para entender el cambio de los usos y coberturas del suelo a través del tiempo (Badia & Valldeperas, 2015, p. 5), y así, anticipar procesos futuros y planificar futuros comportamientos (González-Guerrero & Pons, 2020).

El LULCC comenzó su implementación a partir de 1998, y a partir de ese momento, resume el concepto de la modificación de la superficie terrestre por actividades humanas, en todo el mundo. Ahora bien, los cambios de usos por parte de los humanos para obtener medios de vida y otros elementos esenciales, ha existido durante miles de años; la extensión, la intensidad y la tasa de LULCC son mucho mayores ahora que en el pasado (Hassan et al., 2016). Y aunque la estructura física subyacente del paisaje puede restringirlo, por ejemplo, las condiciones del suelo o el terreno, no es fácil la integración de los factores biofísicos con los antrópicos, al momento de explicar la dinámica de LULCC (Sluiter & de Jong, 2007, citado en Serra et al., 2008, p. 189).

La recolección de conjuntos de datos mediante teledetección permite el mapeo sistemático de las coberturas del suelo. Esto se realiza “mediante sensores a bordo de satélites aerotransportados, que miden la cantidad de radiación electromagnética que refleja la superficie del suelo” (De Luque et al., 2019, p. 35).

En la Tabla 8, se enumeran algunos de los satélites y sensores más empleados, pero destacar que “Las imágenes más adecuadas para el estudio espectral y temporal de las masas forestales serían las que ofrecen los programas Landsat y Sentinel-2 de Copernicus” (Tardà, 2022, p. 75):

Tabla 8: Satélites de observación de la tierra

SATÉLITE	SENSOR	RESOLUCIÓN ESPACIAL	NO. DE BANDAS	RESOLUCIÓN TEMPORAL
DMC	SLIM-6	32 m	3	<1 día
	SLIM 66-22	22 m	3	<1 día
IKONOS	IKONOS	MS: 4 m PAN: 1 m	4	3 a 5 días
KOMPSAT-2	ETM+	MS 30 m PAN 1 m	4	3 días
LANDSAT-7/8	ETM+	MS 30 m PAN 15 m	8	16 días
QUICKBIRD	QUICKBIRD	MS 2,44 m PAN 0,61 m	4	2 a 4 días
RAPIDEYE	RAPIDEYE	6,5 m	5	1 día
SPOT	HRG	MS 10 m PAN: 2,5 o 5 m	4	2,4-3,7 días
	HRS	PAN: 10 m	1	26 días
WORLDVIEW-2	WORLDVIEW-2	MS: 2 m PAN: 0,5 m	8	1 a 3 días
RAPIDEYE	RAPIDEYE	5 m	5	1 a 5,5 días
SENTINEL-2	SENTINEL-2	10 m	13	10 días (2 Satélites – 5 días)

Nota: MS: imagen multiespectral; PAN: imagen pancromática; PS: fusión de imágenes PAN y MS

Fuente: De Luque et al., 2019, p. 35; Sozzi et al., 2018; Toth & Józków, 2015

Con dichas herramientas se pueden realizar diferentes estudios de cambios de coberturas, comparando la representación espacial de dos puntos en el tiempo, “controlando todas las variaciones causadas por diferencias en las variables que no son de interés y para medir cambios causados por las que sí lo son” (Lu et al., 2004, p. 2370). Pero lo más importante es que utilizando estas fuentes se puede llegar a obtener otras variables biofísicas para medir los cambios.

Así pues, poder detectar el tipo de cobertura es posible mediante la teledetección

“Usar sensores remotos implica medir la radiación electromagnética de características de la superficie del suelo, que, a su vez pueden agruparse en diferentes clases de cobertura del suelo (por ejemplo, pasto, hormigón, agua, etc.), debido a que reflejan la radiación de diferentes maneras, proporcionando una representación básica de la variación de la cobertura terrestre” (Aplin, 2004, p. 283).

Debido a esto, la premisa básica en el uso de sistemas de detección remota es que, los cambios en los objetos de interés darán lugar a cambios en valores de reflectancia o texturas locales, que son separables, de los causados por otros factores, tales como, diferencias en las condiciones atmosféricas, ángulos de iluminación y visualización y humedad del suelo (Lu et al., 2004, p. 2370).

Además, la teledetección por satélite, debido a su resolución temporal, proporciona un referente histórico para estimar la extensión espacial de los cambios LULCC. Hay dos enfoques básicos para la detección de cambios (Singh, 1989, citado en Serra et al., 2003, p. 3311):

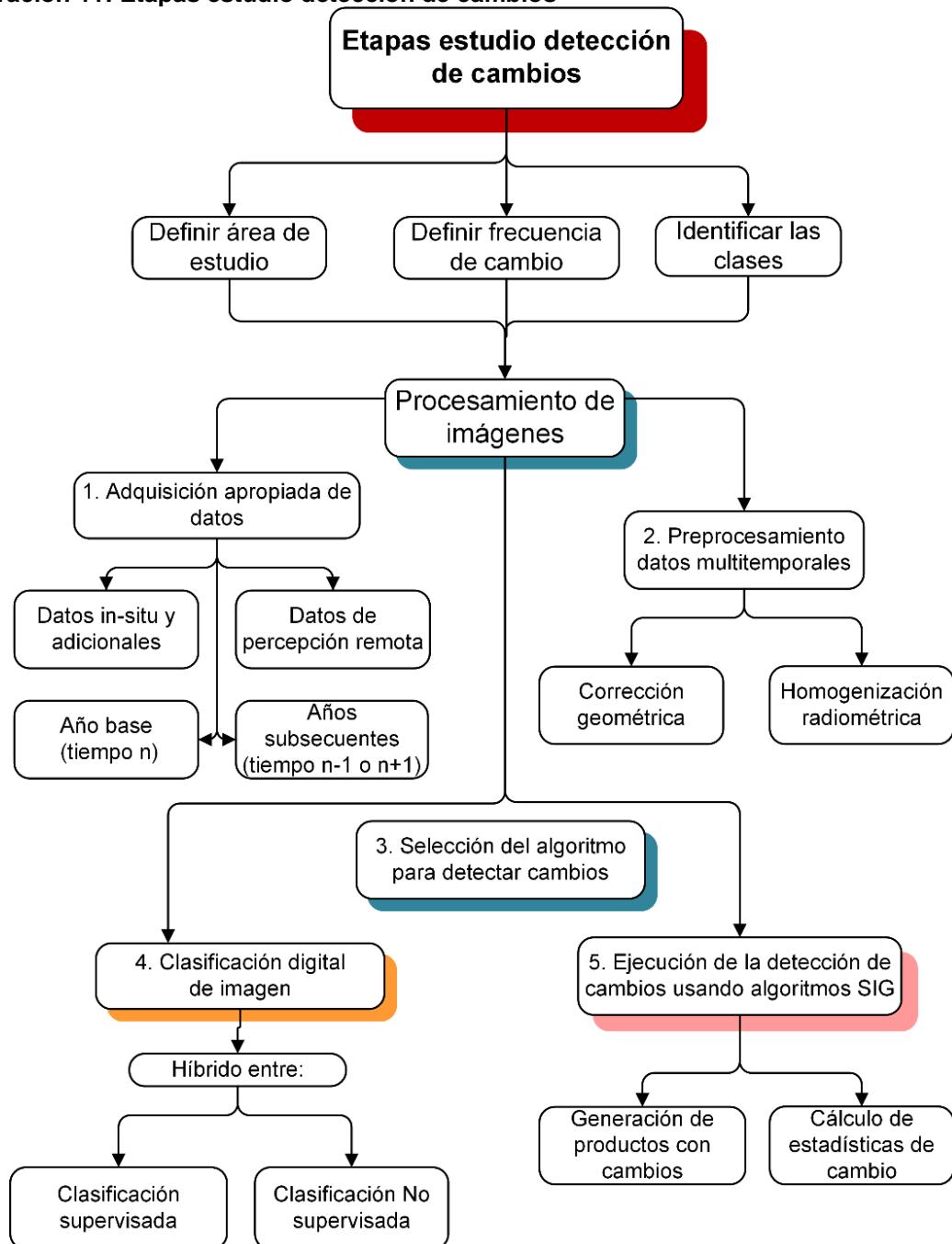
- “1. Análisis comparativo de clasificaciones producidas independientemente de diferentes fechas (comparación posterior a la clasificación, comparación mapa a mapa).
2. Análisis simultáneo de datos multitemporales (clasificación multidata: comparación de imagen a imagen)”.

Los métodos de clasificación convencionales pueden verse desafiados por el error de clasificación entre cubiertas espectralmente similares. Además, en “áreas con nubosidad matutina frecuente, la recolección incluso de unas pocas escenas sin nubes durante un año puede resultar difícil” (Serra et al., 2003, p. 3311). Afortunadamente, la masificación de los productos satelitales dio lugar a la aparición de métodos para generar productos de cobertura terrestre anual a partir de series de tiempo (Franklin et al., 2015, citado en Nguyen et al., 2020), facilitando el subsanar estas faltas de información.

La detección de cambios implica el uso de conjuntos de datos multitemporales para analizar cuantitativamente el efecto temporal del fenómeno (Lu et al., 2004, p. 2365). Esta combinación de datos puede contener una significativa proporción de errores en los límites, especialmente cuando se combinaban datos de diferentes sensores (Serra et al., 2003). Antes, se recomendaba usar datos del mismo sensor para disminuir los problemas asociados a las limitaciones espaciales, espectrales, temáticas y temporales (Lu et al., 2004, p. 2369).

Actualmente, se puede usar la técnica de resample para cambiar la resolución de los píxeles en una imagen, lo que permite crear una nueva imagen con un tamaño diferente de píxel (Vidal et al., 2017; Borra et al., 2015). Además, para llevar el análisis a resoluciones espaciales más detalladas se puede reunir en un solo producto las bandas de diferentes sensores, lo que es especialmente útil al determinar los cambios de LULCC, debido a que, la escala del producto resultante depende del tamaño del píxel (Serra et al., 2003).

Ilustración 11: Etapas estudio detección de cambios



Fuente: adaptado a partir de Riaño, 2002

Al implementar un proyecto de detección de cambios en teledetección, se involucran tres pasos principales: (1) preprocesamiento de imágenes, incluida la rectificación geométrica⁸ y el registro de imágenes, la corrección radiométrica y atmosférica y la corrección

⁸ La rectificación geométrica es crítica para producir mapas espacialmente corregidos de cambios de cobertura del suelo (Geymen & Baz, 2007).

topográfica si el área de estudio se encuentra en regiones montañosas; (2) selección de técnicas adecuadas para implementar análisis de detección de cambios, y (3) evaluación de la precisión (Lu et al., 2004, p. 2368). Para un mejor entendimiento del paso a paso para este proceso, en la Ilustración 11 se muestran las etapas sugeridas por Riaño (2002), para llevar a cabo un estudio de detección de cambios.

2.4.3 Sensores usados

Los gobiernos han estado creando una red de observación de la Tierra (EO) cada vez más eficiente para garantizar el acceso a sistemas de datos de alta calidad. Hay varios sensores de EO como se muestra en la Tabla 8, pero para la presente investigación se centrará en analizar los sensores usados que son Landsat, Sentinel, PlanetScope y RapidEye.

(i) Landsat

Las imágenes de la serie de satélites Landsat son una fuente de datos importante para estudiar tipos y cambios en la cobertura del suelo, debido a que, por su largo historial de mediciones continuas, resolución espacial y observaciones cercanas al nadir, permite monitorear los cambios en las características espectrales de los objetos terrestres (Meng et al., 2023). Desde 1972 hasta la fecha actual, se han llevado a cabo un total de nueve misiones Landsat, cada una de ellas caracterizada por mejoras progresivas en sus sensores a lo largo de los años, en la Tabla 9 se muestra el periodo activo y resolución espacial de cada misión Landsat.

De Landsat 1 al 5 uno de sus inconvenientes es la baja frecuencia temporal, para otras partes del mundo, fuera de Estados Unidos. La frecuencia de recopilación de datos en estas zonas era mayor que los 16 días estándar, esto si las nubes no reducían la cantidad de datos utilizables. Actualmente, esta situación ha experimentado un cambio significativo con el lanzamiento de la última misión Landsat-9, que fue enviada a la órbita en septiembre de 2021. Esta misión es casi una réplica de Landsat-8 y toma imágenes intercaladas, obteniendo de esta manera una revisita cada 8 días entre Landsat-8 y Landsat-9. Esto implica que cualquier estudio temporal de Observación de la Tierra, en cualquier parte del mundo, dispondrá del doble de imágenes aprovechables, siempre que estén libres de nubes (Tardà, 2022).

Tabla 9: Periodo activo y resolución espacial de cada misión Landsat

Misión Landsat	Periodo activo de los sensores	Resolución Espacial
Landsat-1	1972-07; 1978-01	Resolución espacial 60 m
Landsat-2	1975-01; 1982-02	Resolución espacial 60 m
Landsat-3	1978-06; 1983-02	Resolución espacial 60 m
Landsat-4	1982-08; 1993-12	Resolución espacial 30 m
Landsat-5	1984-03; 2012-05	Resolución espacial 30 m
Landsat-6	1993-10	Falla la órbita
Landsat-7	1999-05; Actualidad	Imágenes parciales debido a un error de proceso en el Scan Line Corrector.
Landsat-8	2013-03; Actualidad	Resolución espacial 30 m. Pequeño ajuste límites espectrales
Landsat-9	2021-10; Actualidad	Resolución espacial 30 m. Pequeño ajuste límites espectrales.

Fuente: adaptado a partir de Tardà, 2022

Las imágenes Landsat pasan por distintos niveles de proceso, se puede hablar de dos grandes conjuntos: el nivel 1, que contienen correcciones geométricas y correcciones radiométricas y el nivel 2, en el que se incorporan las correcciones atmosféricas. A mediados del año 2020 el USGS rehizo todas las sus correcciones radiométricas tanto del nivel 1 como del nivel 2 y abrió una nueva colección de imágenes llamada Landsat Colection 2 donde se hallaban de nuevo los dos niveles de proceso (Tardà, 2022).

En esta investigación se usaron imágenes de Landsat-8 de la colección 2 en nivel 2. Estas tienen nueve bandas (Tabla 10) pero se han utilizado las que corresponden a las porciones visibles, infrarroja cercana e infrarroja de onda corta (VIS, NIR y SWIR) del espectro. La resolución espaciales es de 15 metros para el pancromático y de 30 metros para las multiespectrales.

Tabla 10: Lista de bandas de Landsat-8

Bandas Landsat-8	Longitud de onda (μm)	Resolución espacial (m)
Banda 1 - Coastal aerosol	0,43 - 0,45	30
Banda 2 - Blue	0,450 - 0,51	30
Banda 3 - Green	0,53 - 0,59	30
Banda 4 - Red	0,64 - 0,67	30
Banda 5 - NIR	0,85 - 0,88	30
Banda 6 - SWIR 1	1,57 - 1,65	30
Banda 7 - SWIR 2	2,11 - 2,29	30
Banda 8 - Panchromatic (PAN)	0,50 - 0,68	15
Banda 9 - Cirrus	1,36 - 1,38	30

Fuente: adaptado a partir de USGS, 2023

(ii) Sentinel

La constelación Sentinel-2 fue diseñada para respaldar el programa Landsat mediante la incorporación de sensores con características de resolución espacial y espectral similares (Padró et al., 2018). Por esta razón, los satélites Sentinel-2 graban imágenes multiespectrales en bandas situadas en el VIS y NIR (características principales de los satélites Landsat) de las cuales seis bandas se encuentran situadas casi en las mismas zonas espectrales que las bandas Landsat (Tardà, 2022). El ciclo de órbita temporal de las plataformas Sentinel-2 se pensó específicamente para maximizar las observaciones consecutivas combinadas con Landsat, aumentando así sus posibilidades de monitoreo conjunto (Padró et al., 2018).

El lanzamiento de la constelación de satélites Sentinel-2A (2015) y Sentinel-2B (2017) por parte de la Agencia Espacial Europea (ESA) ha hecho posible, disponer de imágenes de un mismo punto de la Tierra cada cinco días, lo que aumenta la probabilidad de captar imágenes en las mejores condiciones atmosféricas. Además, la constelación Sentinel-2 también mejora la resolución espacial y espectral en comparación con Landsat, ya que tiene un mayor número de bandas espectrales disponibles y resoluciones espaciales de 10, 20 y 60 metros (González-Guerrero & Pons, 2020).

Las imágenes Sentinel-2 también pasan por distintos niveles de proceso obteniendo dos productos básicos. El primer producto son las imágenes Level-1C donde se realizan las correcciones geométricas y las correcciones radiométricas a nivel de reflectancias por encima del componente atmosférico (TOA. Top -Of- Atmosphere). El segundo producto que fue seleccionado como insumo en esta investigación corresponde a las imágenes Level-2A que tienen la misma corrección geométrica, pero se ha sustraído el componente atmosférico (BOA. Bottom-Of-Atmosphere) en las correcciones radiométricas obteniendo unas mejores reflectancias (Tardà, 2022).

Sentinel-2, cuenta con tres resoluciones espaciales 10, 20 y 60 metros (Tabla 11). En esta investigación se usó las bandas que corresponden a las porciones visibles, infrarroja cercana e infrarroja de onda corta (VIS, NIR y SWIR) del espectro.

Tabla 11: Lista de bandas de Sentinel-2

Bandas Sentinel-2	Sentinel-2A Longitud de onda central (nm)	Sentinel-2B Longitud de onda central (nm)	Resolución espacial (m)
Banda 1 - Coastal aerosol	442,7	442,2	60
Banda 2 - Blue	492,4	492,1	10
Banda 3 - Green	559,8	559,0	10
Banda 4 - Red	664,6	664,9	10
Banda 5 - Vegetation Red Edge 1	704,1	703,8	20
Banda 6 - Vegetation Red Edge 2	740,5	739,1	20
Banda 7 - Vegetation Red Edge 3	782,8	779,7	20
Banda 8 - NIR	832,8	832,9	10
Banda 8a - Narrow NIR	864,7	864,0	20
Banda 9 - Water vapour	945,1	943,2	60
Banda 10 - SWIR – Cirrus	1.373,5	1.376,9	60
Banda 11 - SWIR 1	1.613,7	1.610,4	20
Banda 12 - SWIR 2	2.202,4	2.185,7	20

Fuente: adaptado a partir de ESA, 2023

La misión Sentinel-1 es una colección de satélites de observación de la Tierra desarrollados por la ESA como parte del programa Copérnico. El primer satélite llamado Sentinel-1A, fue lanzado el 3 de abril de 2014 y su gemelo, Sentinel-1B, fue lanzado el 25 de abril de 2016 y están equipados con radares de apertura sintética (SAR) de banda C de polarización dual. Esta colección incluye las escenas S1 *Ground Range Detected (GRD)*, procesadas con Sentinel-1 Toolbox para generar un producto calibrado y ortocorregido, cada escena contiene 1 o 2 de las 4 posibles bandas de polarización, según la configuración de polarización del instrumento. Las combinaciones posibles son monobanda VV o HH, y bibanda VV+VH y HH+HV (European Union/ESA/Copernicus, 2023):

- VV: copolarización simple, transmisión vertical/recepción vertical
- HH: copolarización simple, transmisión horizontal/recepción horizontal
- VV + VH: polarización cruzada de doble banda, transmisión vertical/recepción horizontal
- HH + HV: polarización cruzada de doble banda, transmisión horizontal/recepción vertical.

En la presente investigación se usó las escenas VV y VH.

(iii) PlanetScope

PlanetScope, operado por Planet, es una constelación de aproximadamente 130 satélites, capaz de obtener imágenes de toda la superficie terrestre de la Tierra todos los días (una capacidad de recolección diaria de 200 millones de km²/día). Las imágenes de PlanetScope tienen una resolución de aproximadamente 3 metros por píxel. La constelación de satélites PlanetScope consta de múltiples lanzamientos, desde el primer lanzamiento en 2014, se han lanzado tres tipos de instrumentos PlanetScope (Planet, 2023a):

- Dove Classic: Construido con un telescopio que llamamos "PS2", captura canales rojos, verdes, azules e infrarrojos cercanos. Los productos que produce se llaman Scene y tienen aproximadamente 25,0 x 11,5 km². Las imágenes disponibles van desde julio de 2014 hasta el 29 de abril de 2022.
- Dove-R: Construido con el mismo telescopio "PS2", pero con un patrón de Bayer actualizado y filtros de banda de paso, captura los canales rojos, verdes, azules e infrarrojos cercanos. Los productos Scene tienen aproximadamente 25,0 x 23,0 km². Las imágenes disponibles son de marzo de 2019 al 22 de abril de 2022.
- SuperDove: Construido con un telescopio llamado "PSB" y la misma respuesta de filtro que el instrumento PS2.SD, captura los canales del rojo, verde, azul, infrarrojo cercano, así como un nuevo borde rojo, verde, azul costero y amarillo. Los productos Scene tienen aproximadamente 32,5 x 19,6 km². Las imágenes disponibles son de mediados de marzo de 2020 hasta la actualidad.

Hay cuatro tipos de activos disponibles para los productos, cada uno con diferencias en el procesamiento o la rectificación radiométrica (Planet, 2023a):

- El nivel básico se llama activos de Basic Analytic (basic_analytic) y son productos de imágenes multiespectrales, calibrados, pero no ortorectificados. Estos productos están diseñados para usuarios que desean corregir geométricamente los datos ellos mismos.
- El segundo nivel corresponde a los activos analíticos (analytic), que a diferencia de los anteriores ya están ortorectificados y calibrados para corregir las distorsiones detectadas del terreno. Estos productos además proporcionan imágenes con geolocalización precisa y proyección cartográfica.
- El tercer nivel son los activos visuales (visual) que son productos de imágenes RGB ortorectificados, con corrección de color que están optimizados para el ojo humano y brindan imágenes tal como se verían si se vieran desde la perspectiva del satélite.

- El cuarto y último nivel, que fue seleccionado como insumo en esta investigación corresponde a un activo de reflectancia superficial (analytic_sr) que está ortorrectificado y corregido radiométricamente para garantizar la consistencia en las condiciones atmosféricas localizadas y para minimizar la incertidumbre en la respuesta espectral en el tiempo y la ubicación. Estos productos de imágenes multiespectrales están diseñados para aplicaciones de monitoreo y análisis temporal, especialmente en los sectores agrícola y forestal.

En la Tabla 12 se relacionan las bandas usadas en esta investigación.

Tabla 12: Lista de bandas de Planet Scope PS2

Bandas PlanetScope	Imagery from PS2 Longitud de onda (nm)	Resolución espacial (m)
Banda 1 - Blue	455 - 515	3
Banda 2 - Green	500 - 590	3
Banda 3 - Red	590 - 670	3
Banda 4 - NIR	780 - 860	3

Fuente: adaptado a partir de Planet, 2023c

(iv) RapidEye

Es una constelación retirada de cinco satélites, su funcionamiento fue desde 2009 hasta 2020. Las imágenes de RapidEye tenían una resolución espacial aproximada de 5 metros por píxel y una resolución espectral de 5 bandas (Blue, Green, Red, Red Edge, NIR). En la Tabla 13 se listan las bandas usadas en esta investigación.

Tabla 13: Lista de bandas de RapidEye

Bandas RapidEye	Longitud de onda (nm)	Resolución espacial (m)
Banda 1 - Blue	440 - 510	5
Banda 2 - Green	520 - 590	5
Banda 3 - Red	630 - 685	5
Banda 4 - Red Edge	690 - 730	5
Banda 5 - NIR	760 - 850	5

Fuente: adaptado a partir de PlanetLabs, 2016

Los productos de imágenes RapidEye están disponibles para su descarga en forma de activos de imágenes, con diferencias en el procesamiento radiométrico o la rectificación (Planet, 2023d):

- Los activos de Basic Analytic (basic_analytic) son productos de imágenes multiespectrales, calibrados y no ortorrectificados que se han corregido y se han

transformado en radiancia de la parte superior de la atmósfera -TOA (en el sensor). Estos productos están diseñados para aplicaciones analíticas y de ciencia de datos, y para usuarios que desean corregir geométricamente los datos por sí mismos (aprovechando el tipo de activo de coeficiente polinomial racional asociado).

- Los activos analíticos (analytic) son los mismos productos basic con la diferencia que estos ya están ortorrectificados, que se han corregido para detectar distorsiones del terreno, y se han transformado en radiancia TOA. Los usos son los mismos de basic con la ventaja de que las imágenes cuentan con geolocalización precisa y proyección cartográfica.
- Los activos visuales (visual) se ortorrectifican y se corrigen los colores para optimizar los colores que ve el ojo humano, proporcionando imágenes tal como se verían si se vieran desde la perspectiva del satélite. Estos productos están diseñados para una inspección visual simple y directa, y pueden usarse e ingerirse directamente en una aplicación o sistema de información geográfica.
- Los activos de reflectancia superficial (analytic_sr) se ortorrectifican y se corrigen radiométricamente para garantizar la consistencia en las condiciones atmosféricas localizadas y para minimizar la incertidumbre en la respuesta espectral en el tiempo y la ubicación. Estos productos están diseñados para aplicaciones de monitoreo y análisis temporal, especialmente en los sectores agrícola y forestal.

2.4.4 Tipos de clasificación de imágenes satelitales

La clasificación de las imágenes satelitales es un proceso que tiene como objetivo identificar y categorizar sus píxeles según sus características espectrales, espaciales y temporales. Para llevar a cabo la clasificación se emplean técnicas de aprendizaje automático destacando la no supervisada, supervisada y la mixta (Martínez, 2020; Vargas & Campos, 2018). La técnica supervisada se considera la más precisa; sin embargo, depende de la capacidad del algoritmo utilizado para discriminar las categorías (Vargas & Campos, 2018).

Clasificación no supervisada

La técnica no supervisada, es una forma de clasificación basada en píxeles y es esencialmente una clasificación automatizada (Toribio, 2020). El usuario especifica el número de clases, selecciona el algoritmo entre los que se destacan K-means, ISODATA

(Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) y CLARA (Clustering Large Applications) (Chuquillanqui, 2022; Navarro, 2022) que realizan la agrupación “natural” de píxeles (clúster) en función de características espectrales similares. Una vez realizada la identificación espectral de grupos homogéneos, cada uno corresponde a un tipo particular de cobertura del suelo (Martínez, 2020; Mukhopadhyay & Maulik, 2009; Serra et al., 2008; Bandyopadhyay et al., 2007). En ocasiones, esta técnica se usa como paso previo al método supervisado (Toribio, 2020).

A continuación, se relacionan estudios que aplicaron la técnica de clasificación no supervisada:

- Ruiz (2021), realizó un procesamiento, que incluyó la combinación de bandas, una clasificación no supervisada, generación de polígonos y obtuvo mediante cálculos de áreas los resultados finales como parte de un análisis multitemporal del espejo de agua del embalse del Muña mediante imágenes satelitales Sentinel.
- Vila et al. (2015), realizaron la detección de cambios en los usos de suelo a partir de clasificaciones no supervisadas para la actualización del SIOSE, en el territorio gallego.

Clasificación supervisada

La clasificación supervisada fue la seleccionada en la presente investigación, para este tipo de clasificación se “deben contemplar dos fases: la primera corresponde al entrenamiento y la segunda al proceso de validación” (Betancourt & Martínez, 2017, p. 25).

El método supervisado a pesar de ser el más preciso, requiere de una fase de a priori por medio de la delimitación e identificación de áreas de entrenamiento y validación, lo que implica un arduo trabajo de recolección de muestras en campo. Además, los resultados de una clasificación supervisada dependen no solo de la capacidad del algoritmo utilizado para discriminar las categorías; sino también de supuestos con respecto al comportamiento de las categorías (Vargas & Campos, 2018). Entre los algoritmos de clasificación supervisada se destacan: k-nearest neighbors (k-NN), Redes neuronales artificiales (ANN), Support Vector Machine (SVM), árboles de decisión (decision trees -DT) y Random Forest (RF) (Chuquillanqui, 2022; Navarro, 2022). Cada algoritmo tiene ventajas y limitaciones al momento de clasificar coberturas (Vargas & Campos, 2018). En el lapso comprendido entre 2007 a 2017, se tuvo un marcado incremento en el uso de estos dos últimos algoritmos (Thanh & Kappas, 2018).

La primera fase del enfoque supervisado implica la “selección de áreas de entrenamiento (en píxeles u objetos) en la imagen que caracteriza estadísticamente las categorías de LCLU” (Serra et al., 2008, p. 193). Es decir, basándose en el conocimiento previo, se definen y se delimitan sobre la imagen las áreas de entrenamiento o áreas piloto, de las cuales, se emplea su información espectral para entrenar un algoritmo de clasificación, “el cual calcula los parámetros estadísticos de cada banda para cada sitio piloto y de esta forma es posible evaluar cada nivel digital de la imagen, compararlo y asignarlo a una respectiva clase” (Betancourt & Martínez, 2017, p. 25).

Una vez realizado este proceso es necesario validar la clasificación para evaluar el nivel de precisión, y así, verificar los resultados. Con esto se busca “estimar la exactitud de la clasificación al definir el grado de concordancia entre las clases asignadas por el clasificador y los datos definidos como verdaderos” (Martínez, 2020, p. 11).

A continuación, se relacionan estudios que aplicaron la técnica de clasificación supervisada:

- González-Guerrero et al. (2019), realizaron un estudio de los cambios de las superficies de cultivos en Cataluña entre 1987 – 2012, mediante una clasificación supervisada utilizando el algoritmo k-NN.
- González-Guerrero & Pons (2020), generaron el mapa de usos y cubiertas del suelo de Cataluña (MUCSC) 2017, mediante clasificación supervisada con el algoritmo de inteligencia artificial k-NN.
- Vargas & Campos (2018), realizaron series de clasificaciones supervisadas, utilizando los algoritmos *Minimum Distance*, *Mahalanobies*, *Maximum Likelihood*, *Neural Network*, *Support Vector Machine* y *Parallelepiped* para determinar cuál algoritmo clasificaba mejor cada cobertura (bosque tardío, bosque temprano, bosque intermedio, bosque de galería, pastos, manglar) según puntos de control tomados mediante trabajo de campo.
- Niclòs et al. (2010), aplicaron una clasificación supervisada de máxima probabilidad, *Maximum Likelihood*, sobre imágenes MODIS de reflectividad espectral a 500x500m² de píxel, resolución que consideraron adecuada para estudios de patrones globales de variación de magnitudes físicas a nivel regional.

Clasificación mixta

El método de clasificación para mapear las coberturas del suelo puede ser un clasificador híbrido (supervisado y no supervisado), una combinación de ambas estrategias, lo que se conoce como técnicas semi-automatizadas (Serra et al., 2008, p. 193).

A continuación, se relacionan estudios que aplicaron la técnica de clasificación mixta o híbrida:

- Serra et al., (2008), realizaron un análisis espacial para examinar las principales fuerzas impulsoras del cambio de cobertura y uso del suelo en un paisaje mediterráneo, mediante un clasificador híbrido que combina las técnicas supervisada y no supervisada.
- Escobar & Guarín (2018), realizaron un proceso de clasificación no supervisada y supervisada (mixta) en un análisis de los procesos de desertificación en la cuenca media del río Chicamocha, a partir del cambio multitemporal en la cobertura y uso del suelo.

2.4.5 Metodología en Colombia para detectar deforestación

El IDEAM, es la entidad encargada en Colombia de realizar el monitoreo de las dinámicas asociadas a las coberturas vegetales. Para esto se estableció de manera oficial un protocolo para identificar y cuantificar la pérdida del bosque a partir de imágenes de sensores remotos denominado “Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia Versión 2.0” (Galindo et al., 2014, p. 1). Dicho protocolo indica que:

“La identificación de la deforestación se realiza mediante la detección directa de cambios. En este enfoque se procesan y comparan simultáneamente las imágenes de satélite de las dos fechas analizadas, identificando los cambios en la respuesta espectral que puedan corresponder a una pérdida o ganancia de la cobertura de Bosque. De esta forma, se comparan directamente las imágenes y no los mapas de Bosque y No Bosque generados de manera independiente para cada fecha” (Galindo et al., 2014 p. 16).

“Para calcular la superficie de deforestación entre dos fechas se tendrá en cuenta únicamente los eventos en los cuales se tiene información de la existencia de bosque en la primera fecha y de pérdida de bosque en la segunda, de manera que

exista la certeza de que el evento ocurrió en el periodo de tiempo analizado" (Galindo et al., 2014 p. 16).

El IDEAM implementa el procesamiento digital semi-automatizado de imágenes satelitales para crear mosaicos temporales y detectar así los cambios de cobertura. Entre los productos utilizados para la creación de estos mosaicos, se destacan las imágenes Landsat 7 y 8 (las más implementadas por el IDEAM), las de Sentinel-1 y 2 y, las de PlanetScope por un convenio con el gobierno noruego a través del Norway's International Climate and Forest Initiative (NICFI) (Galindo & Cabrera, 2021). Estos mosaicos son el resultado de integrar los datos de todas las imágenes disponibles para un intervalo, que puede ser un año.

Concretamente, el proceso se basa en 5 pasos: 1) Descarga de las imágenes satelitales; 2) enmascaramiento automático de nubes (cloudmasking); 3) (stockcomposed), para el análisis de los puntos de calor (ActiveFires); 4) ArrNorm (normalización) y 5) Alertas Tempranas de Deforestación (ATD). Los algoritmos de procesamiento y análisis de las imágenes incluyen: ThRasE (edición, análisis de componentes principales), PCA4CD (procesamiento) y AcATAMa (control calidad). Los algoritmos son creados en lenguaje Phyton para QGIS, pero también pueden ser usados en otras plataformas (Galindo et al., 2014).



CAPITULO 3. CONTEXTO DEL ÁREA DE ESTUDIO

*Puerto Guzmán a orillas del Río Caquetá
Sobrevuelo con RPAS
Autor: Eraso, 2022*

CAPITULO 3. CONTEXTO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para contextualizar el área de estudio, se inicia con la localización del área de estudio, la exposición de las características biofísicas, describiendo el clima, el relieve, los tipos de suelo, las condiciones hidrográficas, la cobertura del suelo y la deforestación. Con esto se facilita entender la fragilidad de las coberturas naturales presentes y las presiones a las que se ven sometidas.

En segunda instancia, y debido a que el área de estudio se encuentra entre los frentes más activos en cuanto a deforestación se refiere, se buscó profundizar en los factores sociales y económicos. Para esto se abordó en el contexto humano aspectos como la demografía y el índice de pobreza, actividades económicas en el marco del cambio de coberturas del suelo, y el contexto del conflicto armado, todo ello para explicar la fuerte demanda de recursos naturales y entender las difíciles condiciones sociales. Las descripciones se inician a una escala departamental y posteriormente se pasa al área de estudio.

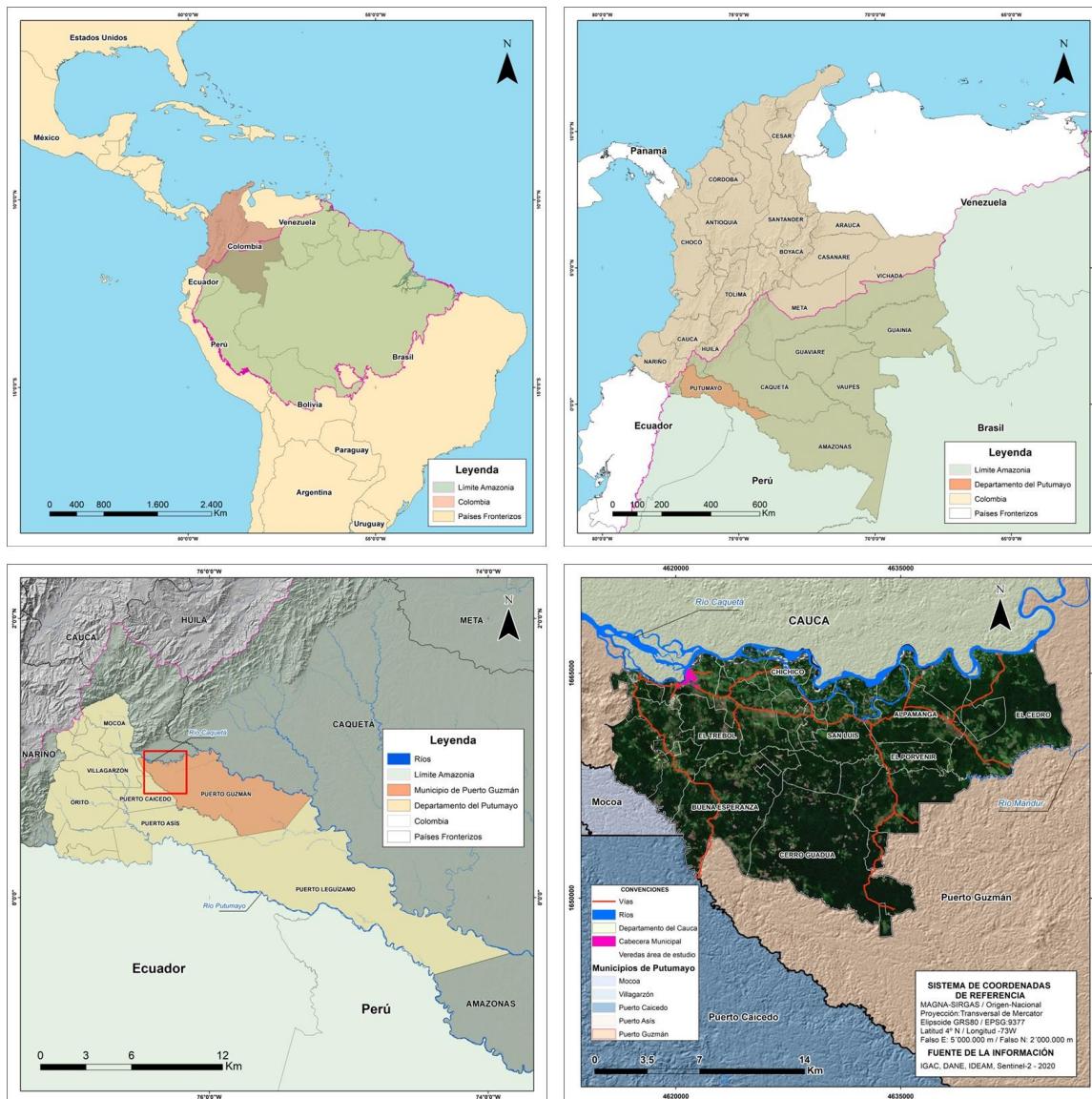
En la geografía nacional, el departamento del Putumayo ocupa un área aproximada de 25.701 km² y administrativamente está conformado por trece municipios. Limita al norte con los departamentos del Cauca y Caquetá, al sur con los países de Ecuador y Perú, al occidente con el departamento de Nariño y al oriente con el departamento del Amazonas. Un 94% de su territorio hace parte de la Gran Cuenca Amazónica, a la cual tributan los ríos Putumayo y Caquetá; el resto forma parte de la zona de transición de la zona andina (Cancimance, 2012).

Teniendo como referencia la Cuenca Amazónica, el territorio se ha dividido en cuatro subregiones: 1) Andino - amazónica o del Valle de Sibundoy, conformada por los municipios de Colón, Santiago, Sibundoy y San Francisco; 2) Piedemonte o Cuenca del Río Caquetá, que componen los municipios de Mocoa, Villagarzón y Puerto Guzmán; 3) Llanura Amazónica o Cuenca Baja del Río Putumayo, conformada por los municipios de Puerto Asís, Puerto Caicedo y Leguízamo; 4) Zona Petrolera, integrada por los municipios de Orito, Valle del Guamuéz y San Miguel (Cancimance, 2012).

Para efectos del presente estudio se seleccionó como área de interés una porción del territorio del municipio de Puerto Guzmán. Esto obedece a que este municipio se localizaba en un frente de colonización con un acelerado proceso de deforestación, que tiene una importante oferta forestal. Con esto se espera identificar las dinámicas de ocupación del territorio y cambios de cobertura, y así, contar con información de base fidedigna que permita proponer acciones asertivas sobre el territorio. En la Ilustración 12 se muestra la

ubicación del área de estudio en el municipio de Puerto Guzmán, departamento del Putumayo, Colombia.

Ilustración 12: Ubicación del área de estudio

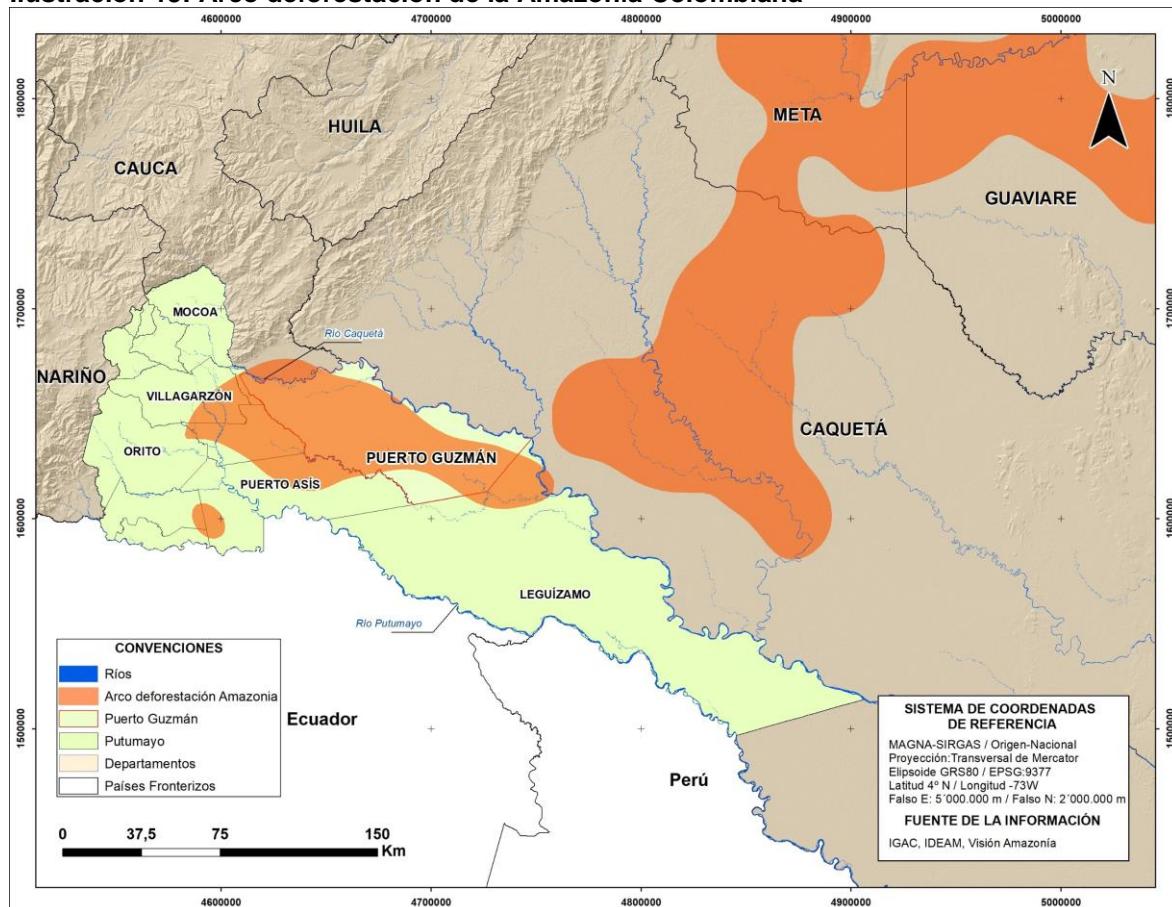


Puerto Guzmán es un municipio del Putumayo ubicado a orillas del río Caquetá, a dos horas por tierra de Mocoa y quince de Bogotá (Uribe, 2020). Limita por el norte y por el oriente con el Departamento de Caquetá, por el occidente con los Municipios de Mocoa, Puerto Caicedo y Puerto Asís. Su cabecera municipal se localiza aproximadamente a 40 km de Mocoa, desde donde se llega por vía terrestre en un trayecto que se recorre en aproximadamente una hora y quince minutos en la ruta Mocoa - Villagarzón - Puerto Guzmán (CORPOAMAZONIA, 2020). Este municipio cuenta con un área aproximada de 4.576 km², y está conformado por la cabecera municipal, nueve inspecciones municipales

de policía, 184 veredas, siete cabildos indígenas y siete resguardos indígenas (Uribe & Guzmán, 2022; Visión Amazonía, 2019).

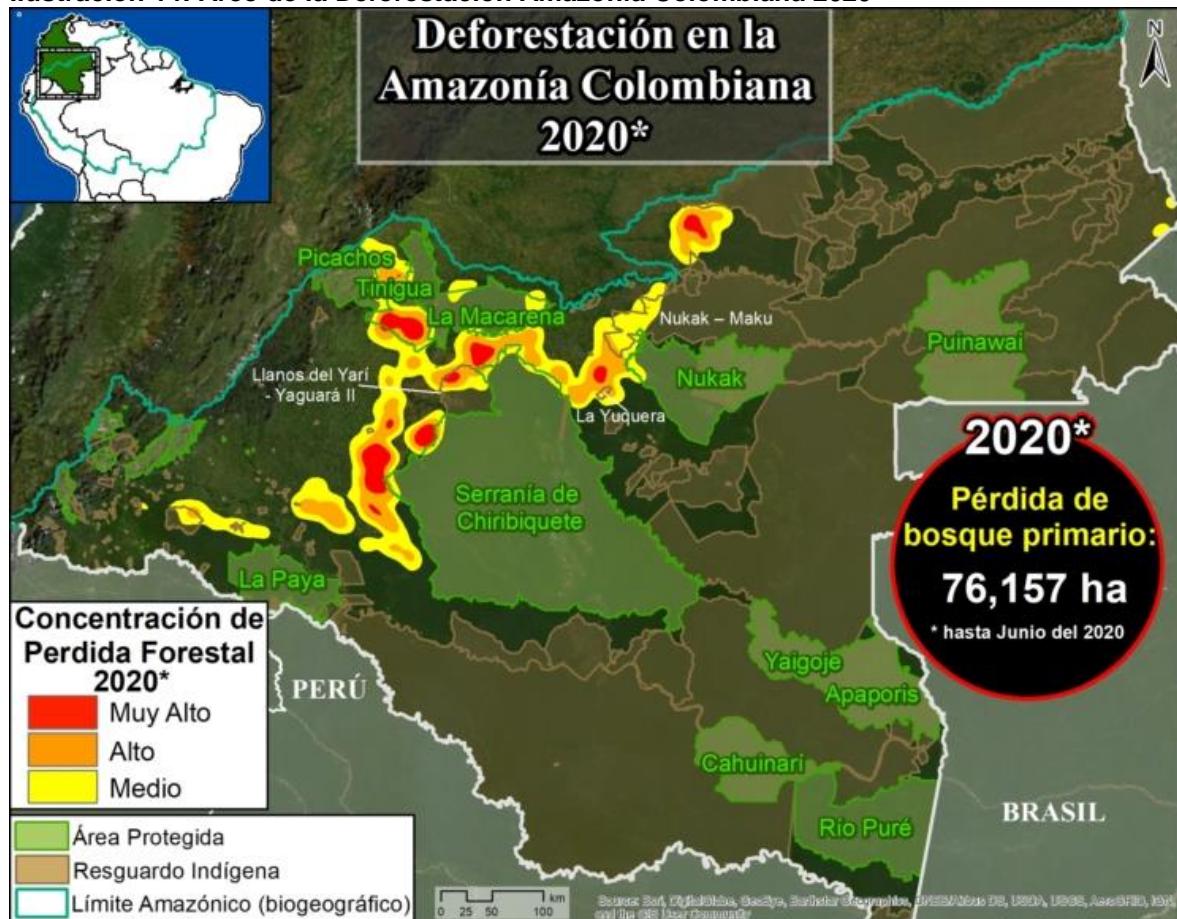
Puerto Guzmán cuenta con cerca de 3.543 km² ordenados dentro de la Unidad de Ordenamiento Forestal Mecaya-Sencella; y aproximadamente el 45% del territorio se encuentra reservado por el Estado para adelantar actividades de exploración y explotación de hidrocarburos (CORPOAMAZONIA, 2020). Además, es uno de los municipios con una alta dinámica de transformación de las coberturas naturales (IDEAM, 2018). Se localiza dentro del denominado “arco de la deforestación”, que es la superficie donde se concentran los núcleos activos de la deforestación de la Amazonía colombiana (Ilustración 13) (Visión Amazonía, 2022).

Ilustración 13: Arco deforestación de la Amazonía Colombiana



El “arco de la deforestación” es una expresión utilizada para describir las superficies donde se concentran la mayor pérdida de bosques en la Amazonía, especialmente en Brasil, Colombia y Perú. En Colombia esta área se encuentra principalmente en la región amazónica del sur de Colombia y abarca partes de los departamentos de Caquetá, Guaviare, Guainía, Putumayo y Vaupés (MAAP, 2020).

Ilustración 14: Arco de la Deforestación Amazonía Colombiana 2020



Fuente: MAAP, 2020 con base en UMD/GLAD, RUNAP, RAISG

Realizar la investigación a escala municipal no era viable y, por lo tanto, se determinó trabajar veredas⁹, debido a que éstas cuentan con información cartográfica oficial (de límites y áreas) del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Para seleccionar las veredas se siguieron principalmente dos criterios: 1) la disponibilidad de imágenes de diferentes sensores (Landsat 5 - 8, Sentinel-1 - 2, RapidEye, PlanetScope) para generar cartografía de coberturas del suelo en diferentes fechas a fin de realizar el análisis multitemporal y 2) la accesibilidad del área para el levantamiento de información usando instrumentos de recolección como encuestas y muestras de coberturas. Igualmente, aspectos como la seguridad y la existencia de vías de acceso fueron relevantes para seleccionar las veredas.

El área de estudio corresponde a la cabecera municipal del municipio de Puerto Guzmán y sus veredas aledañas, con un total de 34.055,45 ha (Tabla 14 e Ilustración 15).

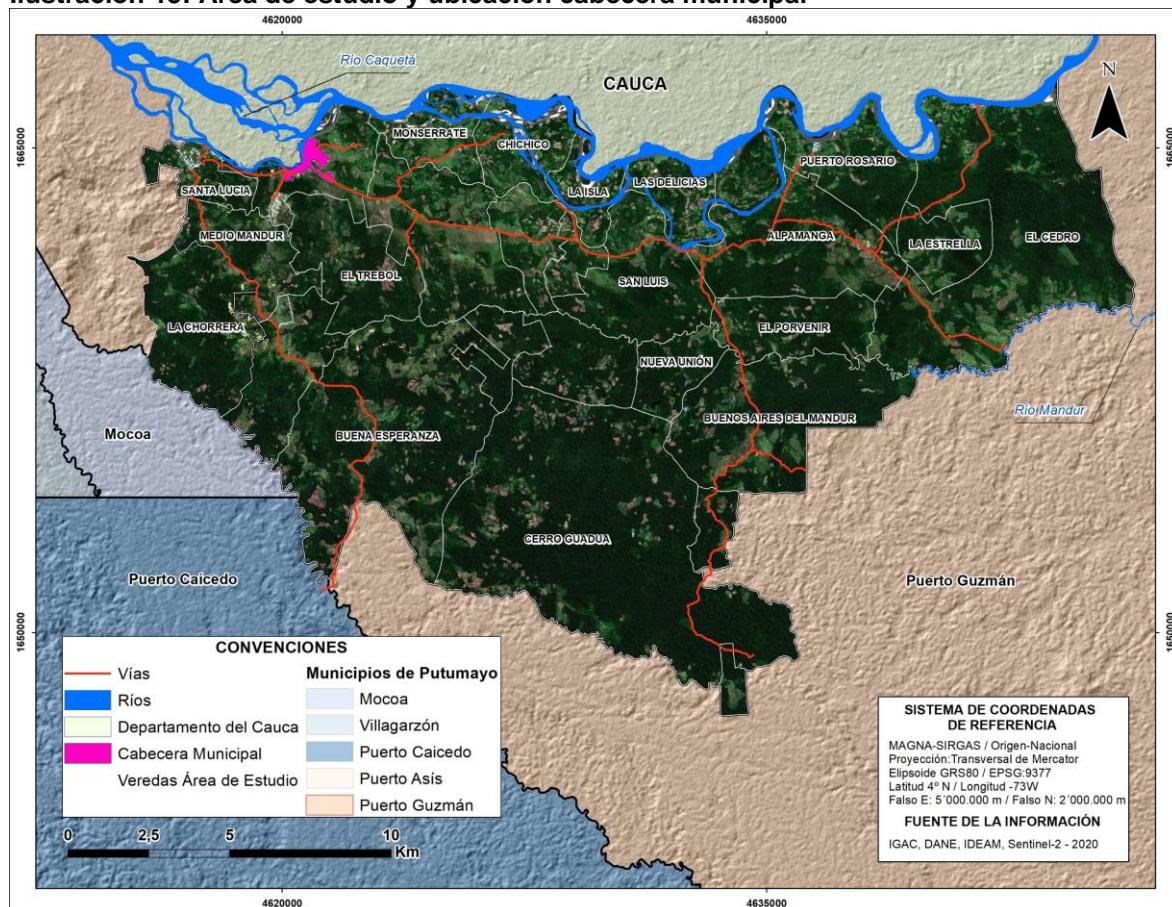
⁹ Vereda es un término usado en Colombia para definir un tipo de subdivisión territorial de los diferentes municipios del país. Es acogido de forma oficial por el estado colombiano.

Tabla 14: Listado de veredas seleccionadas y la cabecera municipal del municipio de Puerto Guzmán

NRO	Veredas	Área (ha)	NRO	Veredas	Área (ha)
1	Alpamanga	1.708,83	16	La Isla	426,67
2	Buena Esperanza	3.527,37	17	La Pedregosa	145,72
3	Buenos Aires Del Mandur	2.148,68	18	La Punta	44,70
4	Cabecera Municipal Puerto Guzmán	85,37	19	Las Delicias	576,27
5	Casco Urbano	792,35	20	Los Naranjos	284,63
6	Cerro Guadua	5.633,69	21	Medio Mandur	783,12
7	Chichico	758,11	22	Monserrate	671,70
8	El Bombón	259,89	23	Nueva Unión	522,52
9	El Cedro	4.071,78	24	Puerto Rosario	1.086,76
10	El Descanso	547,60	25	Resguardo Aguadita	783,35
11	El Nogal	430,93	26	San Cayetano	431,97
12	El Porvenir	903,64	27	San José De La Montaza	1.591,21
13	El Trébol	1.127,20	28	San Luis	1.310,61
14	La Chorrera	1.414,64	29	Santa Helena	945,70
15	La Estrella	607,18	30	Santa Lucia	433,27
Total		34.055,45			

Fuente: adaptado a partir de DANE, 2020

Ilustración 15: Área de estudio y ubicación cabecera municipal

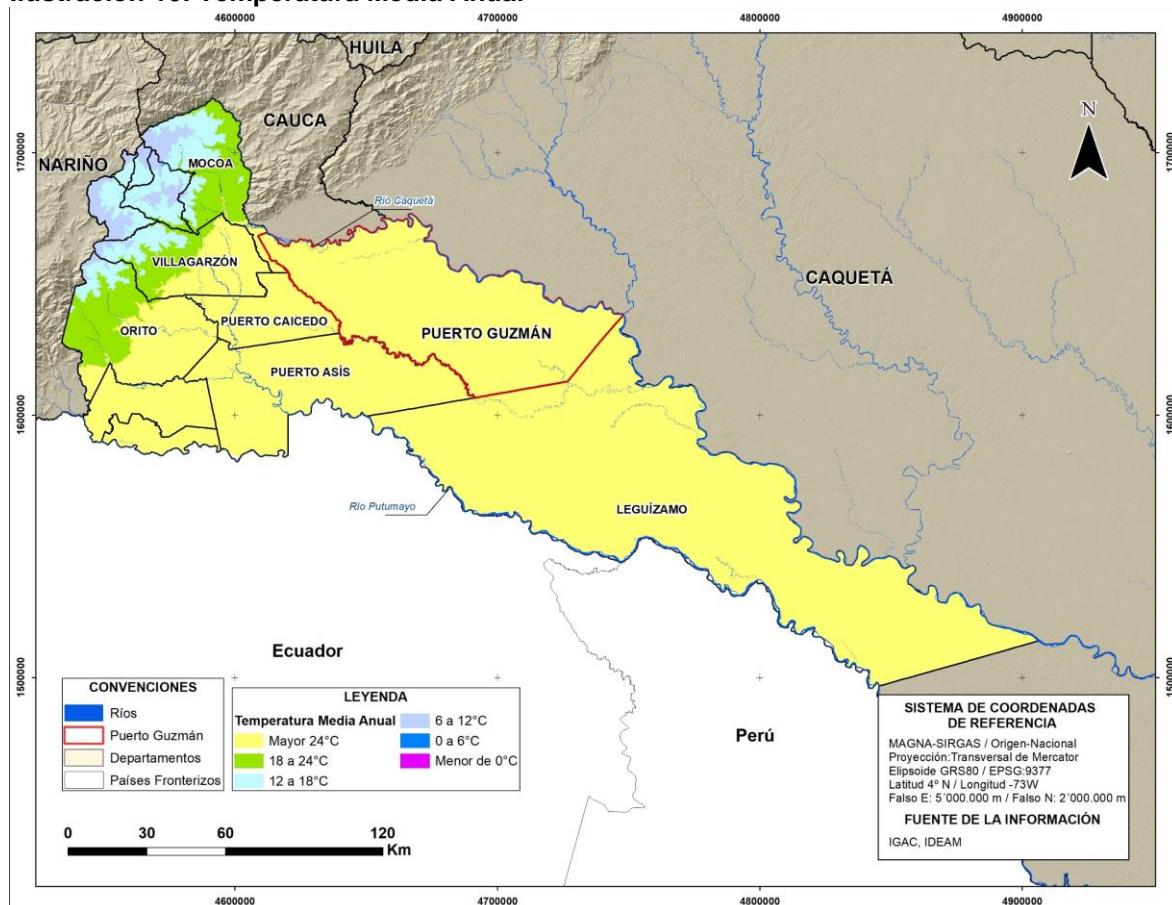


La ventana temporal seleccionada es comparar el 2010 y el 2020, este lapso obedece a lo estipulado en la Ley 1844 del 14 de julio de 2017, en la que el estado colombiano se compromete a cumplir lo aprobado en el “Acuerdo de París” en el 2015. Dicho acuerdo indica que la base de referencia de superficie de bosque y de cambio en la superficie de bosque para desarrollar medidas de reducción de deforestación y de mitigación al cambio climático, deben ser tomadas a partir del año 2010.

3.1 ASPECTOS BIOFÍSICOS

El área de estudio pertenece a la región denominada “Piedemonte o Cuenca del Río Caquetá”, posee un clima cálido húmedo, se encuentra en un rango altitudinal entre 218 y 259 m.s.n.m y corresponde a la zona de Bosque Húmedo Tropical. La temperatura media anual es superior a 24 °C (Ilustración 16) y la precipitación promedio es de 364,7 mm/mes (Ilustración 17). Los datos de las estaciones climatológica para estas dos variables se relacionan en el Anexo 3. El régimen de temperatura media anual es isotérmico, es decir que la diferencia entre la temperatura media de los meses más cálidos y fríos es inferior a 5° C.

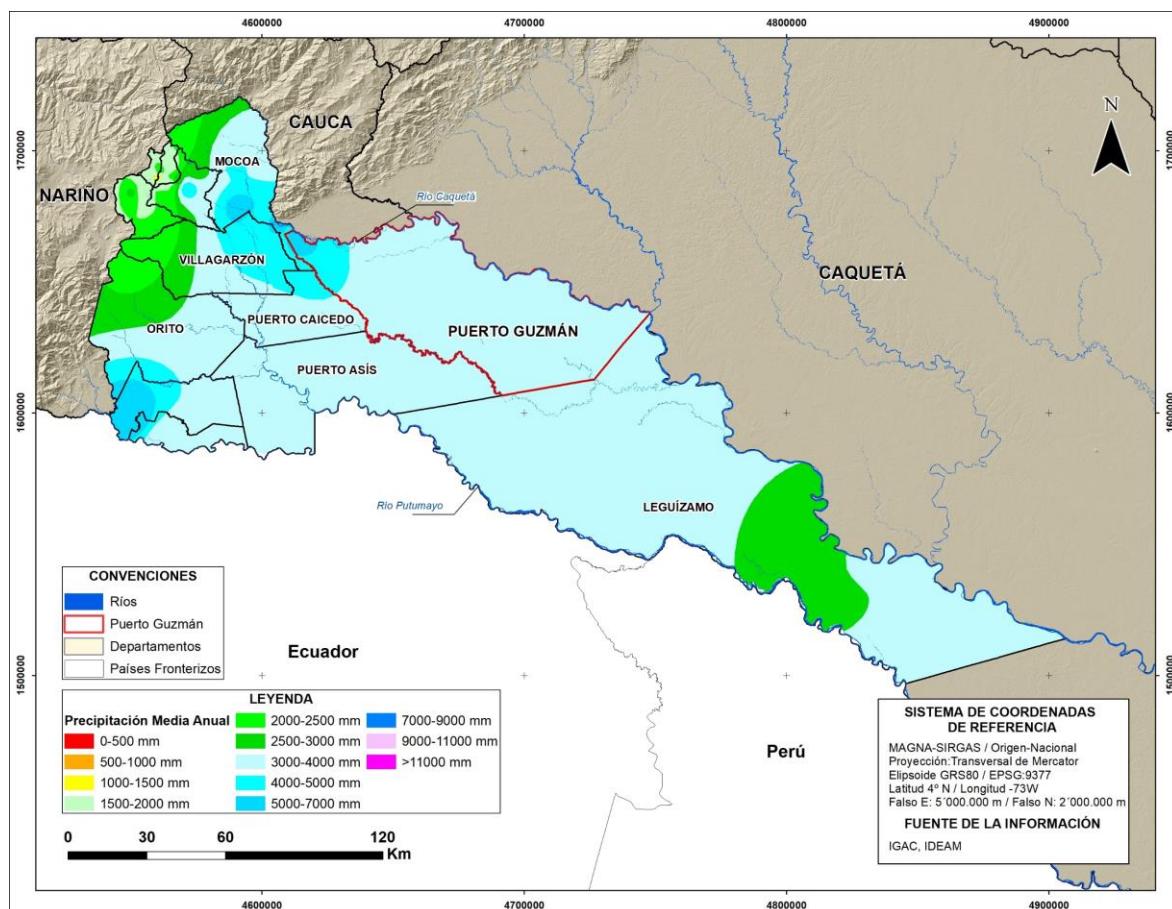
Ilustración 16: Temperatura Media Anual



Fuente: adaptado a partir de IDEAM, 2012

Otro aspecto para considerar es el referente a la humedad. Según el “Plan de ordenación forestal Mecaya-Sencella, Putumayo”, en el área de estudio, cerca del 75% de la región permanece húmeda durante al menos nueve meses al año; el 22% permanece anegada y el 3% está seca entre tres y seis meses anuales. Existen amplias áreas con suelos bien drenados que permanecen secos durante gran parte del año (tres a seis meses), lo que es una limitante para la agricultura comercial y para las pasturas, ocasionando grandes pérdidas en cultivos de Maíz (*Zea mays*) (UD-CORPOAMAZONIA, 2003).

Ilustración 17: Mapa de precipitación media anual



Fuente: adaptado a partir de IDEAM, 2014

De los aspectos biofísicos a continuación se presentará la fisiografía, las cubiertas del suelo y la deforestación. Estos aspectos son importantes para la investigación por su influencia directa en la configuración del ecosistema y la biodiversidad del área de estudio.

3.1.1 Fisiografía

A continuación, se realiza una descripción de la fisiografía del área de estudio, abordando la geomorfología, suelos e hidrología para ofrecer una visión general de su configuración geográfica y los elementos que la componen.

(i) Geomorfología

La descripción y clasificación de las unidades geomorfológicas en el área de estudio, utilizó el *Sistema de Clasificación Geomorfológica* propuesto por Alfred Zinck (1988), adaptado para Colombia por la Subdirección de Agrología del IGAC (IGAC, 2007). Para el área de estudio se relacionan las unidades geomorfológicas en la Tabla 15 y se resalta la categoría de lomas y colinas que abarca el 45,11%.

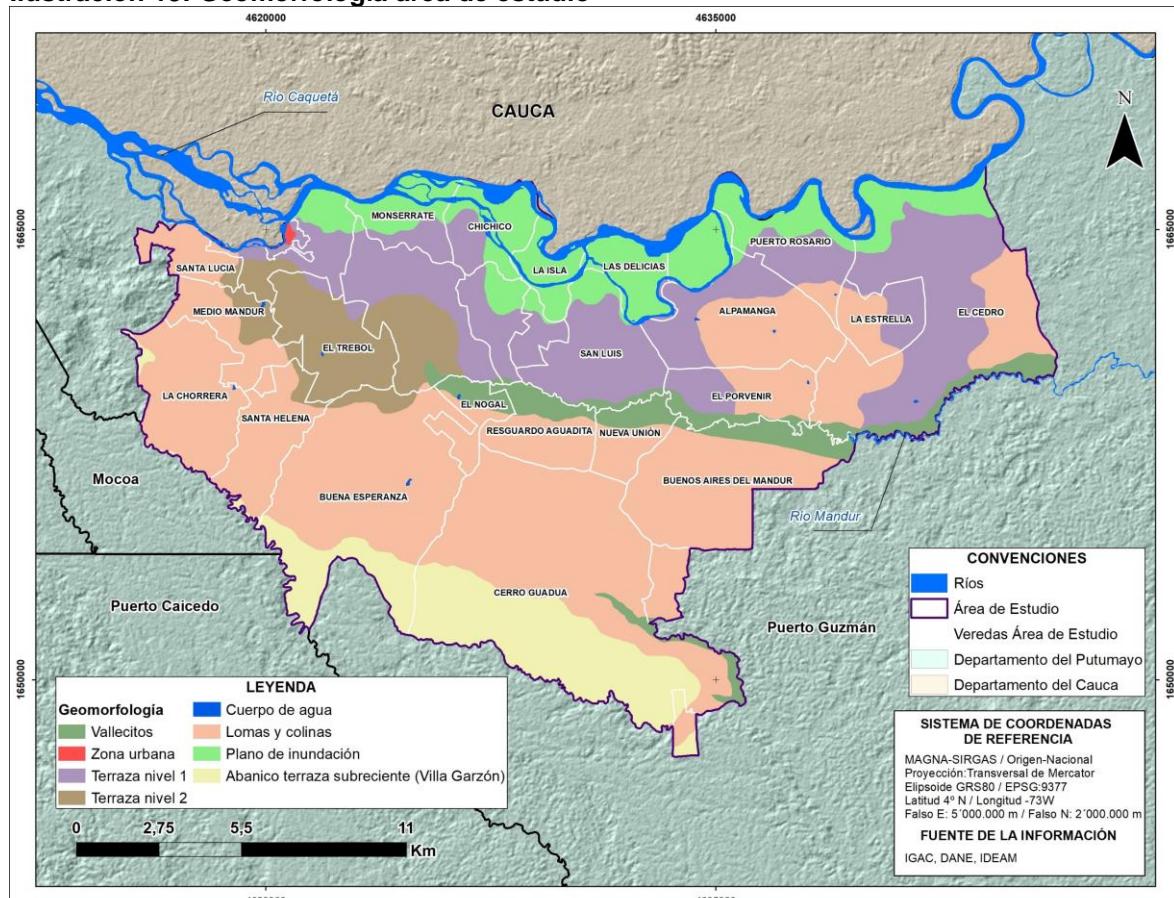
Tabla 15: Geomorfología Área de Estudio

Geomorfología Área de Estudio	Área Ha	Porcentaje
Abanico terraza subreciente (Villa Garzón)	3.156,16	9,27
Cuerpo de agua	617,71	1,81
Lomas y colinas	15.361,29	45,11
Plano de inundación	3.561,05	10,46
Terraza nivel 1	7.153,18	21,00
Terraza nivel 2	2.371,18	6,96
Vallecitos	1.817,35	5,34
Zona urbana	17,53	0,05
Total	35.055,45	100,00

Fuente: adaptado a partir de IGAC, 2014b

La Ilustración 18, muestra el mapa de geomorfología, en el cual se observa claramente que los planos de inundación se localizan en los márgenes del río Caquetá.

Ilustración 18: Geomorfología área de estudio



Fuente: adaptado a partir de IGAC, 2014b

(ii) Suelos

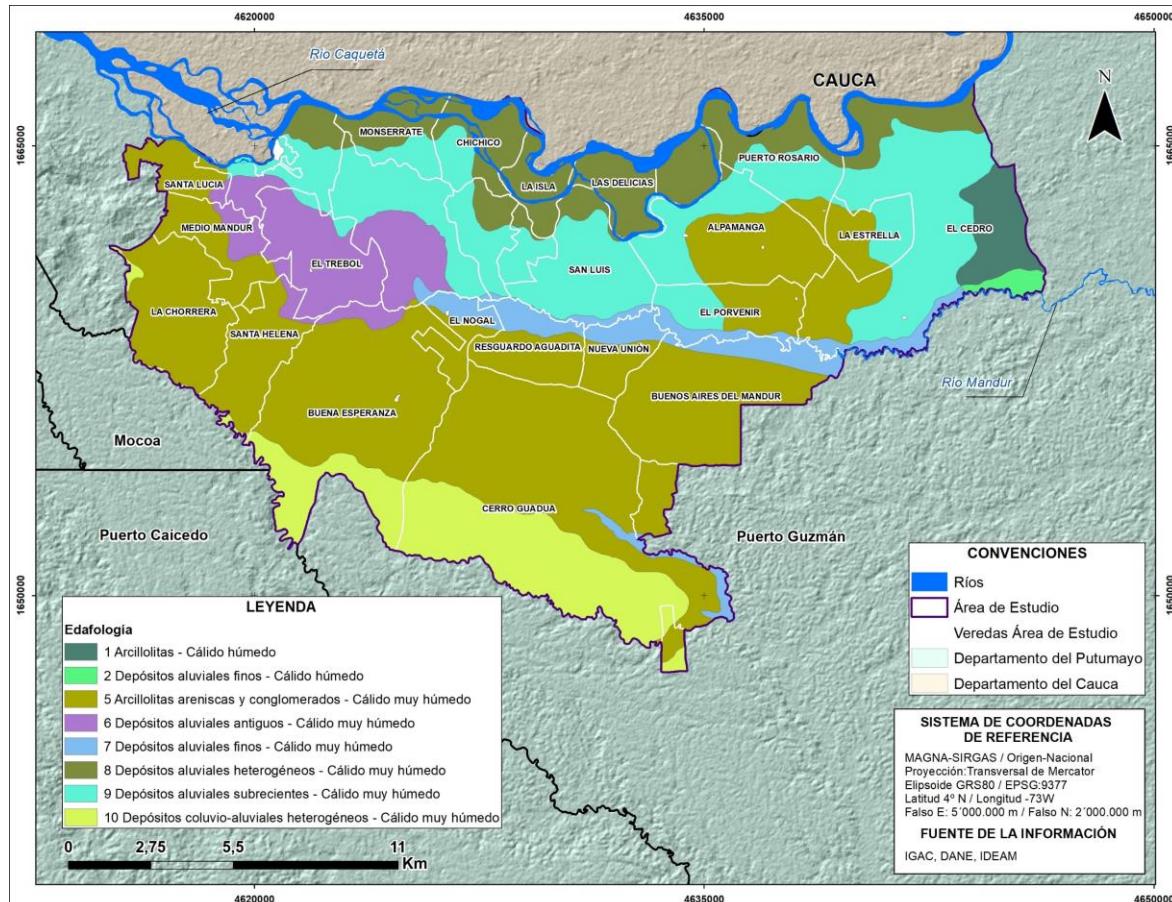
Los suelos del área de estudio están fuertemente influenciados por el clima (Cálido Muy Húmedo), lo que da como resultado una marcada acidez, alta saturación de aluminio y baja fertilidad. Esta última se origina debido a los procesos acelerados de descomposición de la materia orgánica, influenciados por las condiciones de humedad y temperatura. La exuberancia de las selvas que existieron y de las que se hallan relictos, se derivan de la capacidad de reciclaje de los árboles, no de las propiedades químicas edafológicas. La dinámica de tala-roza-quema de los procesos colonizadores, para cambiar el uso del forestal al agropecuario es poco recomendado, debido a que las primeras cosechas tienen buenos rendimientos debido a los nutrientes que proporciona la ceniza de la vegetación quemada, pero una vez, estos son lavados, el suelo queda estéril lo que conlleva, a mayor presión sobre el bosque, al incrementarse la dinámica de tala-roza-quema (IGAC, 2014b). Su distribución en el área de estudio es un 31,46% *derivados de depósitos aluviales* (categorías 8 y 9) localizados en proximidades al río Caquetá y un 43,15% corresponden a *Derivados de Arcillolitas areniscas y conglomerados* (categoría 5) (Tabla 16 e Ilustración 19)

Tabla 16: Edafología del área de estudio

COD	EDAFOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	ÁREA HA	PORCENTAJE
5	Derivados de Arcillolitas areniscas y conglomerados Suelos profundos, bien drenados, texturas finas y moderadamente finas, alta y muy alta saturación de aluminio, muy fuertemente ácidos, baja fertilidad.	14.695,05	43,15
8	Derivados de: Depósitos aluviales heterogéneos Suelos moderadamente profundos y superficiales, bien y pobemente drenados, texturas moderadamente gruesas a moderadamente finas, moderadamente a fuertemente ácidos, baja y media saturación de aluminio, fertilidad baja a alta.	3.561,05	10,46
9	Derivados de: Depósitos aluviales subrecientes con inclusiones de areniscas y arcillolitas Suelos muy superficiales y profundos, muy pobemente a bien drenados, texturas medias y moderadamente gruesas, alta y baja saturación de aluminio, moderadamente a muy fuertemente ácidos, fertilidad moderada.	7.153,18	21,00

Fuente: IGAC, 2014b

Ilustración 19: Mapa de Edafología del área de estudio



Fuente: IGAC, 2014b

(iii) Hidrografía

El río Caquetá (Ilustración 20) constituye la principal fuente hídrica del municipio de Puerto Guzmán, su caudal normal es de 300 metros cúbicos por segundo, llegando a alcanzar 500 metros cúbicos por segundo en invierno. Los principales tributarios del río Caquetá son el río Mecaya, el río Sabilla, el río Yurilla, el río Mandur, el río Caimán y el río Picudo Grande. Dentro de esta red se encuentran lagos de importancia ambiental (CORPOAMAZONIA, 2020).

El área de estudio está ubicada en las Subzonas Hidrográficas: Alto Caquetá (55,37%), río Caquetá Medio (30,33%) y río Mecaya (14,30%), que pertenecen a la Zona Hidrográfica Caquetá la misma que pertenece al Área Hidrográfica Amazonas (Tabla 17 y Tabla 18).

Ilustración 20: Río Caquetá



Tabla 17: Áreas de las subzonas hidrográficas

Área Hidrográfica	Zona Hidrográfica	Subzona Hidrográfica	Área Ha
Pacífico	Putumayo	Río Juananbú	207.184
		Alto río Putumayo	698.924
		Río San_Miguel	224.485
		Río Putumayo Medio	506.857
		Río Putumayo Directos (mi)	352.247
	Amazonas	Río Cará-Paraná	731.568
		Río Orteguaza	764.527
		Alto Caquetá	591.106
		Río Caquetá Medio	1.572.920
		Río Mecaya	453.510
Amazonas	Caquetá	Río Sencella	174.146
		Río Peneya	160.422
		Río Rutuya	113.473

Fuente: IGAC, 2014

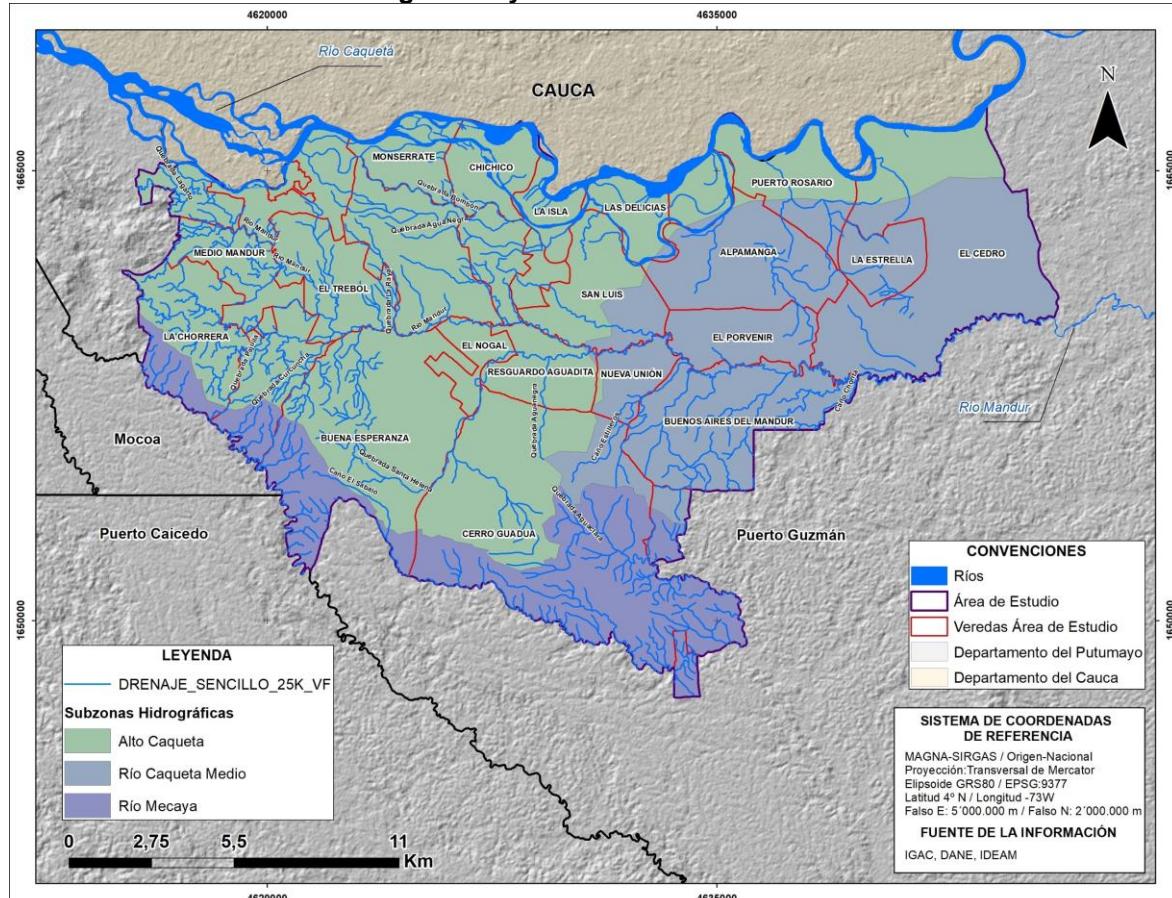
Tabla 18: Extensión de las subzonas hidrográfica de Puerto Guzmán y del Área de Estudio

Subzona Hidrográfica Puerto Guzmán	Área Ha	Porcentaje	Subzona Hidrográfica Área de Estudio		
			Área	Área Ha	Porcentaje
Alto Caquetá	23.137,68	5,06	Alto Caquetá	18.857,83	55,37
Río Caquetá Medio	158.455,11	34,62	Río Caquetá Medio	10.329,12	30,33
Río Mecaya	276.047,45	60,32	Río Mecaya	4.868,51	14,30
Total	457.640,24	100,00	Total	35.055,45	100,00

Fuente: adaptado a partir de IDEAM, 2013b

La Ilustración 21 muestra los principales ríos que discurren en el área de estudio y las subzonas hidrográficas.

Ilustración 21: Subzonas hidrográficas y ríos del área de estudio



Fuente: adaptado a partir de IDEAM, 2013b

3.1.2 Coberturas del suelo

Desde el año 2002 el SINCHI realizó la consolidación de una base de información geográfica de las coberturas del suelo de la Región de la Amazonía colombiana a escala 1:100.000. Esta base se creó con el fin de entender la dinámica del territorio a partir de la caracterización de las coberturas naturales y antrópicas. Aplicando la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia mediante la interpretación visual de imágenes de la plataforma Landsat (MS, ETM +, u OLI). Esta información proporciona conocimiento del uso y ocupación del suelo de la región, mediante el análisis de las coberturas (SINCHI, 2021).

Tabla 19: Cobertura del suelo del Municipio de Puerto Guzmán

Cobertura 2020 Puerto Guzmán	Área Ha	Porcentaje
Arbustal denso	397,01	0,09
Bosque denso alto de tierra firme	204.879,67	44,77
Bosque denso alto inundable heterogéneo	26.426,71	5,77
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	7.708,27	1,68
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	8.289,05	1,81
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	43,95	0,01
Mosaico de cultivos con espacios naturales	22,48	0,00
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	12.701,51	2,78
Mosaico de pastos con espacios naturales	36.395,51	7,95
Mosaico de pastos y cultivos	3.950,16	0,86
Palmares	1.740,34	0,38
Pastos enmalezados	7.255,05	1,59
Pastos limpios	76.990,01	16,82
Ríos (50 m)	5.088,58	1,11
Tejido urbano continuo	4,74	0,00
Tejido urbano discontinuo	103,56	0,02
Vegetación secundaria o en transición	64.246,43	14,04
Zonas arenosas naturales	634,73	0,14
Zonas pantanosas	719,04	0,16
Zonas quemadas	43,42	0,01
Total	457.640,24	100,00

Fuente: adaptado a partir de SINCHI, 2021

Tabla 20: Cobertura del suelo del Área de estudio

Cobertura 2020 Área de Estudio	Área Ha	Porcentaje
Arbustal denso	53,23	0,16
Bosque denso alto de tierra firme	11.223,11	32,96
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	923,31	2,71
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	785,42	2,31
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1.609,86	4,73
Mosaico de pastos con espacios naturales	5.110,29	15,01
Mosaico de pastos y cultivos	225,51	0,66
Pastos enmalezados	436,07	1,28
Pastos limpios	2.172,99	6,38
Ríos (50 m)	605,60	1,78
Tejido urbano continuo	4,74	0,01
Tejido urbano discontinuo	97,11	0,29
Vegetación secundaria o en transición	10.781,25	31,66
Zonas arenosas naturales	26,95	0,08
Total	35.055,45	100,00

Fuente: adaptado a partir de SINCHI, 2021

En la Tabla 19 se resumen las coberturas existentes en el municipio de Puerto Guzmán para el año 2020. Destaca la categoría de bosques: bosque denso alto de tierra firme con

el 44,77% del área, Pastos limpios 16,82%, y Vegetación secundaria o en transición 14,04%. En lo referente al área de estudio (Tabla 20), destacan Bosque denso alto de tierra firme con el 32,96% y Vegetación secundaria o en transición con el 31,66% (SINCHI, 2021).

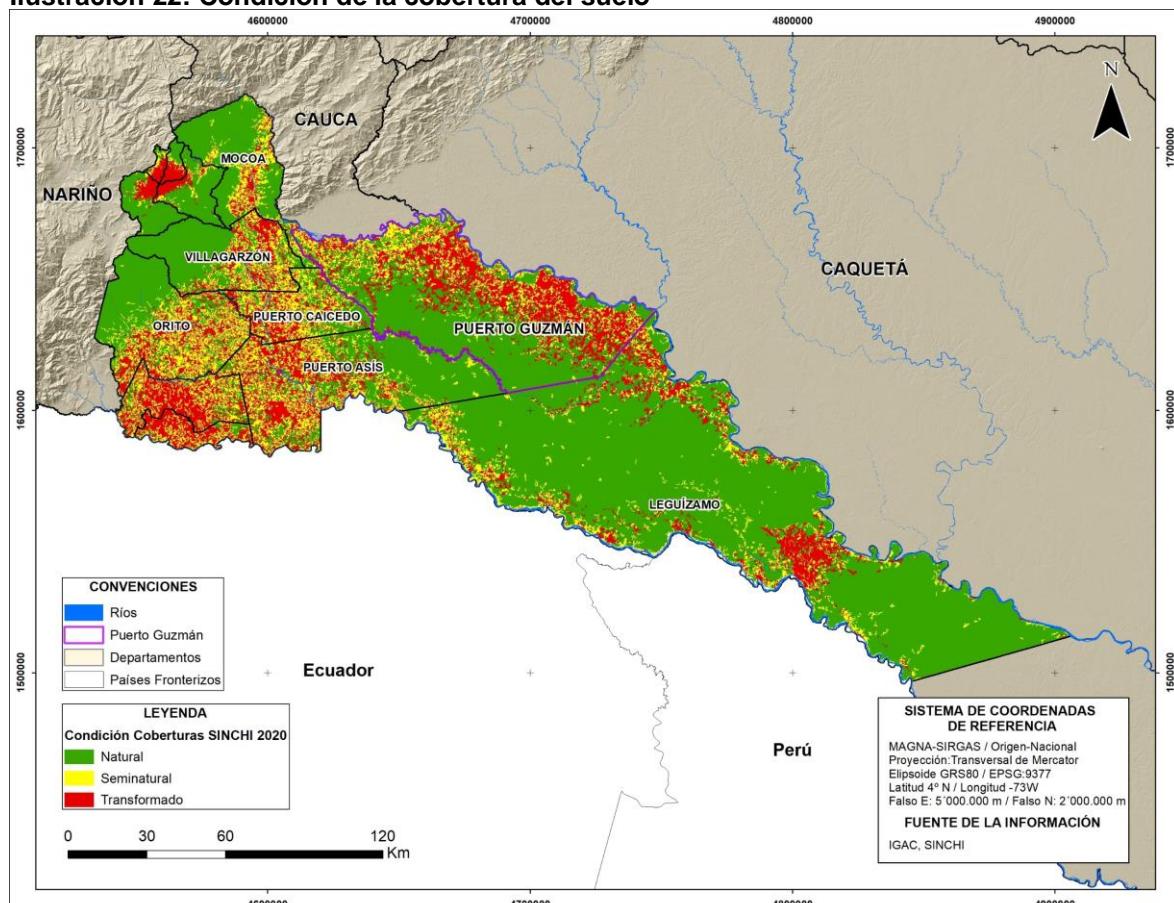
En cuanto a la condición de las coberturas del suelo en el municipio de Puerto Guzmán, se emplea una clasificación que considera el grado de transformación que han experimentado, distinguiendo entre áreas de condición natural, seminatural y transformada (SINCHI, 2021b). Se observa que las coberturas con mayor grado de transformación se ubican en cercanía a las vías y al río Caquetá (Tabla 21 e Ilustración 22).

Tabla 21: Condición de las Cobertura del suelo del Municipio de Puerto Guzmán

Condición Cobertura 2020	Área Ha	Porcentaje
Natural	239.930,03	52,43
Seminatural	80.287,17	17,54
Transformado	137.423,03	30,03
Total	457.640,24	100,00

Fuente: adaptado a partir de SINCHI, 2021

Ilustración 22: Condición de la cobertura del suelo



Fuente: adaptado a partir de SINCHI, 2021b

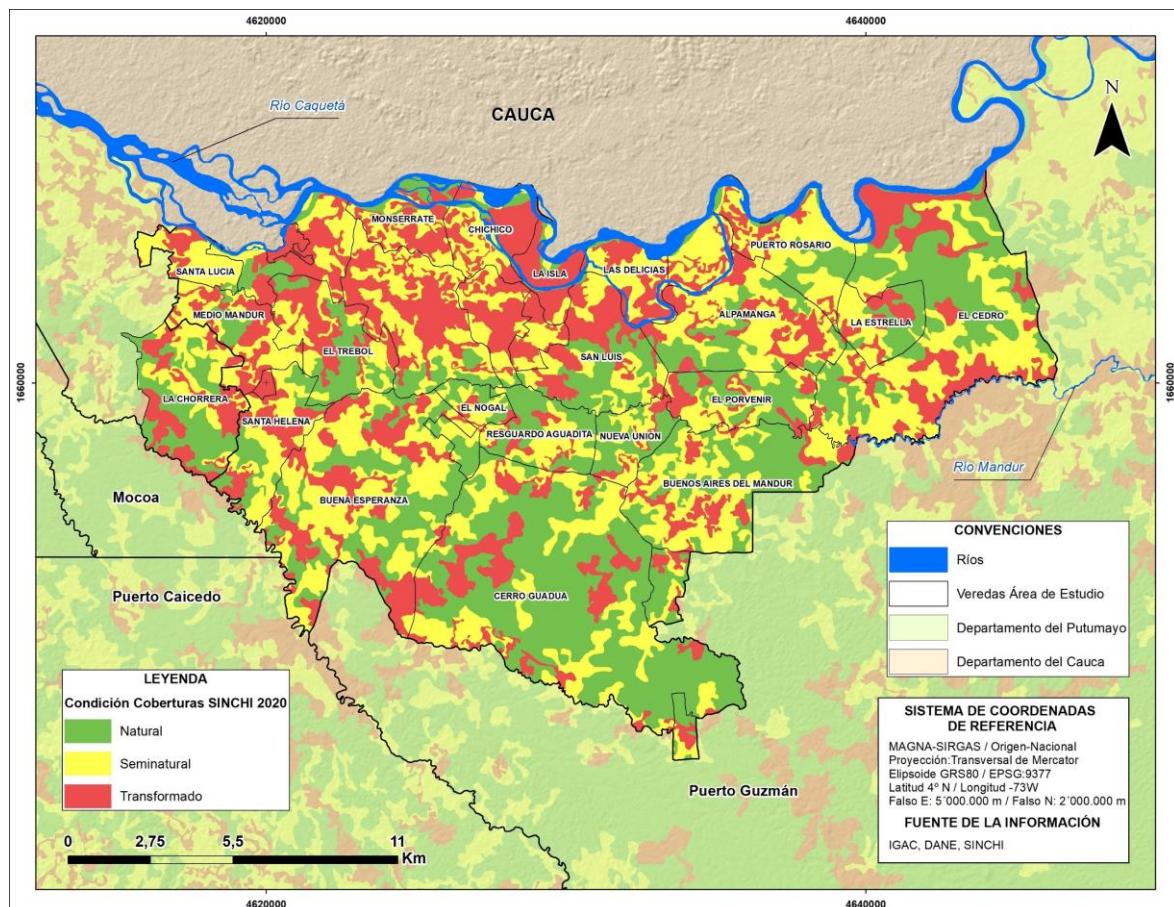
En el área de estudio, la condición de la cobertura del suelo se distribuye de manera equitativa, con un 37% en estado seminatural, un 34% en estado natural y un 28% en estado transformado (Tabla 22 e Ilustración 23).

Tabla 22: Condición de la cobertura año 2020 del Área de Estudio

Condición Cobertura 2020	Área Ha	Porcentaje
Natural	11.908,89	34,97
Seminatural	12.489,98	36,68
Transformado	9.656,58	28,36
Total	34.055,45	100,00

Fuente. Adaptado de SINCHI, 2021

Ilustración 23: Áreas transformadas a escala 1:100.000 para el año 2020 del área de estudio



Fuente. Adaptado de SINCHI, 2021

3.1.3 Deforestación en el municipio de Puerto Guzmán

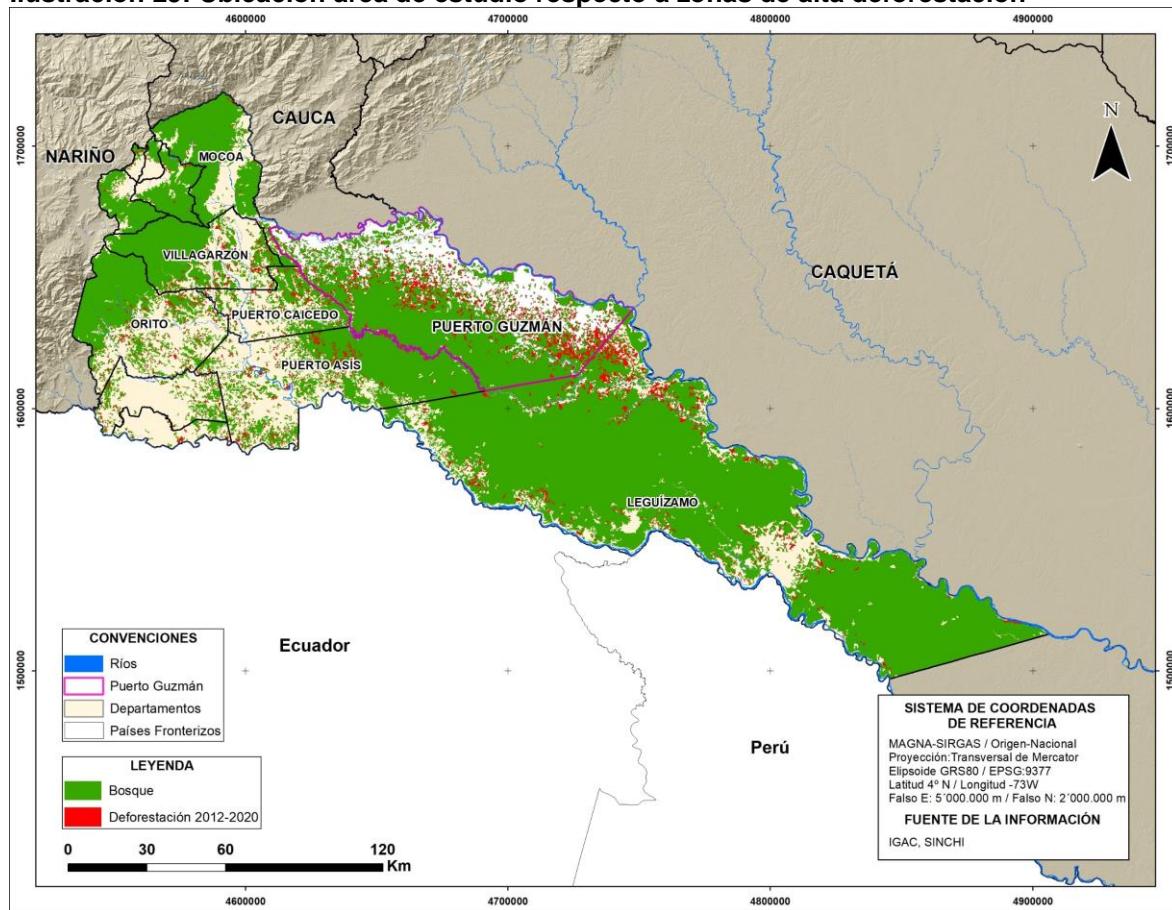
Puerto Guzmán es uno de los catorce municipios de Colombia donde se concentró la deforestación durante el período 2005 - 2010 (IDEAM, 2018). Según el SINCHI la superficie de Bosques para el municipio de Puerto Guzmán era de 293.764,89 ha para el año 2012, mientras que para el 2020 se redujo a 249.044,06 ha, lo que representa que hubo una pérdida de bosque de 44.720,83 ha que equivale al 15,22% de la cobertura de bosque del año 2012 (SINCHI, 2020). Según el reporte del IDEAM, en el departamento de Putumayo, los municipios de Puerto Guzmán y Leguízamo registraron las tasas más elevadas de deforestación. Este fenómeno se atribuye a la conversión de áreas forestales para la creación de pastizales destinados a la ganadería extensiva, al acaparamiento de tierras, a la expansión de la infraestructura vial, a la práctica de cultivos ilícitos, a la minería ilegal y a la explotación maderera (IDEAM, 2017).

Y aunque, es uno de los frentes de cambio de cobertura más álgidos del departamento del Putumayo, aún tiene una importante proporción de bosque, porque alberga el 18% de toda la cobertura boscosa de todo el departamento (Ilustración 22). La deforestación sigue un patrón de concentración en las zonas periféricas del bosque amazónico (Ilustración 25), siendo principalmente influenciada por la accesibilidad proporcionada por la red vial asociada al eje San Vicente del Caguán – Florencia – Mocoa, que está compuesta mayoritariamente de segmentos sin pavimentar (Ilustración 24).

Ilustración 24: Ejemplo de vegetación de borde, vía terciaria de Puerto Guzmán



Ilustración 25: Ubicación área de estudio respecto a zonas de alta deforestación



Fuente. Adaptado de SINCHI, 2021

El río Caquetá presenta en sus riberas concentraciones significativas de áreas deforestadas, siendo los márgenes de este corredor fluvial los primeros puntos de entrada para los agentes de deforestación en las zonas más alejadas (Ilustración 26).

Ilustración 26: Área deforestada al lado del río



3.2 CONTEXTO HUMANO

El contexto humano se aborda en 3 componentes: 1) análisis demográfico y sociocultural, que contiene datos poblacionales de: distribución de género, pirámide poblacional, población económicamente activa, distribución en zonas urbanas y rurales, escolarización, grupos étnicos e índice de pobreza multidimensional, 2) dinámicas productivas y 3) contexto del conflicto armado. La importancia de este apartado radica en que permite examinar el tamaño, la estructura y el movimiento de la población en el espacio y el tiempo, comprender cómo se generan y distribuyen los recursos económicos, el orden público, para comprender los factores que influyen en su bienestar y desarrollo, de esta manera proporcionar una visión general de la población revelando tendencias, desafíos y oportunidades.

Respecto al índice de pobreza multidimensional, se eligió por ser una medición de la pobreza que refleja las múltiples carencias que enfrentan las personas pobres en áreas como educación, salud, entre otras. En la Ilustración 27 se muestran los tipos de vivienda del área de estudio, lo que permite dimensionar las condiciones de la vivienda y servicios públicos.

Ilustración 27: Vivienda típica del área de estudio



3.2.1 Análisis demográfico y sociocultural

El último Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) del año 2018 calculó la población de los municipios de la región Amazónica de Colombia en 1.251.848 habitantes, un incremento del 4% frente al censo anterior (2005), porcentaje por debajo del crecimiento nacional. Sin embargo, la población urbana, creció a un ritmo más rápido que el resto del país, pasando del 42% al 47%. Estos datos tienen varias limitaciones. Por una parte, la omisión censal de los municipios en la región amazónica fue del 12% (frente al 8,5% nacional). Esta situación no es exclusiva del último censo y suele explicarse por la dispersión de la población, las dificultades de acceso a ciertas zonas, los problemas de orden público (alto riesgo por seguridad), las condiciones ambientales, sumado a la falta de infraestructura vial y de transporte que dificultan el acceso, y, por ende, la recolección de la información (Rodríguez, 2021; Meisel et al., 2013). En algunos municipios amazónicos, como el de Puerto Guzmán, la omisión superó el 50%, lo que significa que más de la mitad de su población se estimó bajo criterios estadísticos (Tabla 23) (Uribe & Guzmán, 2022).

Tabla 23: Porcentaje de omisión censal 2018

Municipio	Total	Cabecera	Resto
Mocoa	14,1%	7,8%	27,7%
Orito	12,6%	10,4%	14,9%
Puerto Asís	11,7%	9,9%	14,4%
Puerto Caicedo	30,9%	24,6%	34,7%
Puerto Guzmán	50,6%	6,2%	57,2%
Puerto Leguízamo	29,6%	16,7%	40,0%
San Miguel	25,2%	6,1%	31,9%
Valle del Guamuez	17,9%	9,6%	24,6%
Villagarzón	4,5%	6,6%	1,6%

Fuente: Rodríguez, 2021

(i) Proyecciones de población municipal por área y género

El censo no proporciona datos a nivel de vereda. Por lo tanto, el análisis demográfico se llevará a cabo a nivel municipal y departamental.

Según las proyecciones y retroproyecciones del DANE con base en el CNPV 2018 el departamento del Putumayo en el año 2018 tenía 348.182 habitantes (mujeres: 172.491 y hombres: 175.691), es decir, el 0,8% de la población nacional, 50.694 personas (18% de la población del departamento) son indígenas y 10.262 (4%) son afrocolombianos (DANE, 2021). Respecto al municipio de Puerto Guzmán en el año 2018 su población era de 35.390

(mujeres: 16.751 y hombres: 18.639), es decir, el 10,16% de la población del departamento del Putumayo (Tabla 24).

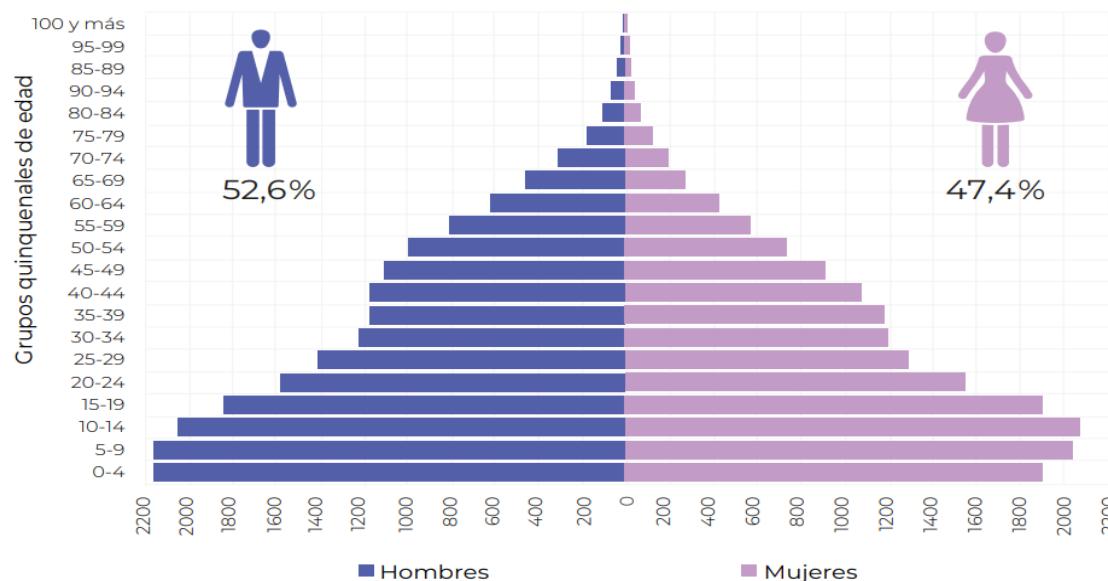
Tabla 24: Población departamental y municipal

Departamento	Año	Población	Municipio	Año	Población
Putumayo	2005	266.274	Puerto Guzmán	2005	25.786
Putumayo	2010	297.600	Puerto Guzmán	2010	29.320
Putumayo	2018	348.182	Puerto Guzmán	2018	35.390
Putumayo	2020	364.883	Puerto Guzmán	2020	36.665
Putumayo	2021	371.213	Puerto Guzmán	2021	37.173

Fuente: adaptado a partir de proyecciones y retroproyecciones del DANE con base en el CNPV 2018

Para el año 2021 el total de la población del municipio de Puerto Guzmán proyectada por el DANE es de 37.173 habitantes (el 47,4% son mujeres y 52,6% corresponde a hombres). De acuerdo con la Ilustración 28, la pirámide poblacional presenta un comportamiento progresivo. Su base demuestra que la tasa de natalidad es más alta o ha venido aumentando, además, se observa poca población de adulto mayor (CEIR, 2023).

Ilustración 28: Pirámide poblacional de Puerto Guzmán, 2021



Fuente: CEIR, 2023 basados en DANE, 2020

Así, el 58,5% de la población del municipio con 21.753 habitantes está determinada por fuerza laboral. Mientras que la población entre los 0 y 14 años representa el 33,4% de la población total, con 12.398 habitantes, y la población mayor de 60 años representa el 8,1% de la población total, con 3.022 habitantes como lo muestra la Tabla 25 (CEIR, 2023).

Tabla 25: Población del municipio de Puerto Guzmán (por grandes grupos de edad), 2021

Edad	Población total		Hombres	Mujeres
0 a 14 años	12.398	33,4 %	6.372	6.026
15 a 59 años	21.753	58,5 %	11.334	10.419
> 60 años	3.022	8,1 %	1.839	1.183
Total	37.173		19.545	17.628

Fuente: CEIR, 2023 basados en DANE, 2020

En cuanto a la distribución de la población en el municipio de Puerto Guzmán, 5.048 habitantes están ubicados en la cabecera del municipio y 32.125 en zona rural es decir la población se encuentra concentrada en su mayoría en la zona rural con un 86,42%, y un 13,58% en la zona urbana, lo que significa que es un municipio de vocación rural (Tabla 26). En cuanto a la distribución por sexo, en el caso de las mujeres el 7,2% se ubica en la cabecera municipal con 2.685 habitantes y en los centros poblados y rural disperso el 40,2% con 14.943 habitantes. Para el caso de los hombres, el 46,2% se ubica en los centros poblados y rural disperso con 17.182 habitantes frente a un 6,4% que se ubica en la cabecera municipal con 2.363 habitantes (CEIR, 2023).

Tabla 26: Población de Puerto Guzmán en la cabecera municipal y los centros poblados y rural disperso 2021

	Hombres		Mujeres		Población total	
Cabecera municipal	2.363	6,4 %	2.685	7,2 %	5.048	13,6 %
Centros poblados y rural disperso	17.182	46,2 %	14.943	40,2 %	32.125	86,4 %
Total	19.545	52,6 %	17.628	47,4 %	37.173	100,0 %

Fuente: CEIR, 2023 basados en DANE, 2020

(ii) Escolarización de la población

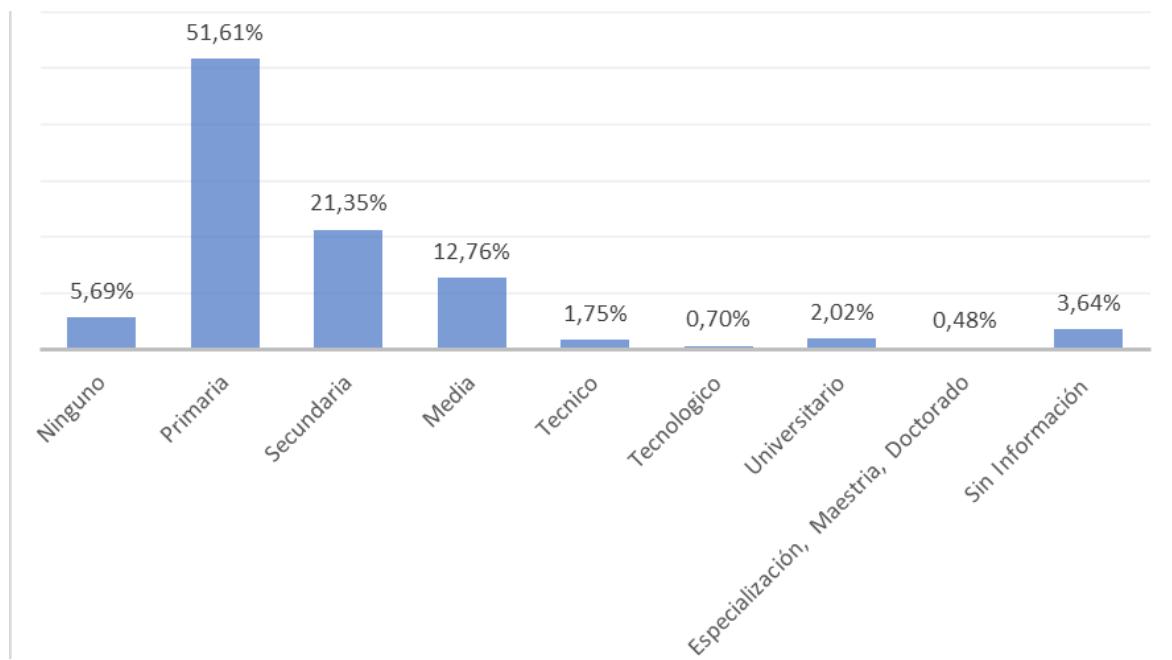
Con base en los resultados del CNPV del año 2018 (DANE, 2018). En el municipio de Puerto Guzmán, predomina el nivel de escolaridad de la primaria (51,61%), seguido del nivel secundaria (21,35%) (Tabla 27 e Ilustración 29).

Tabla 27: Porcentaje de escolarización del municipio de Puerto Guzmán

Escolarización	Hombre	Mujer	Total	% de Escolarización Total
Ninguno	537	367	904	5,69%
Primaria	4.590	3.615	8.205	51,61%
Secundaria	1.670	1.724	3.394	21,35%
Media	966	1.063	2.029	12,76%
Técnico	94	184	278	1,75%
Tecnológico	36	75	111	0,70%
Universitario	145	176	321	2,02%
Especialización, Maestría, Doctorado	30	47	77	0,48%
Sin Información	283	296	579	3,64%
Total	8.351	7.547	15.898	100,00%

Fuente: adaptado a partir de Censo Nacional de Población y Vivienda – CNPV - 2018 (DANE, 2018)

Ilustración 29: Porcentaje de escolarización del municipio de Puerto Guzmán



Fuente: adaptado a partir de Censo Nacional de Población y Vivienda – CNPV - 2018 (DANE, 2018)

Es el municipio con los índices más altos en analfabetismo (14,8%), inasistencia escolar (en zonas rurales de casi el 14%), desempleo de larga duración (de casi el 50% de los hogares), y la tasa de empleo informal (93%), y a nivel de servicios públicos presenta una

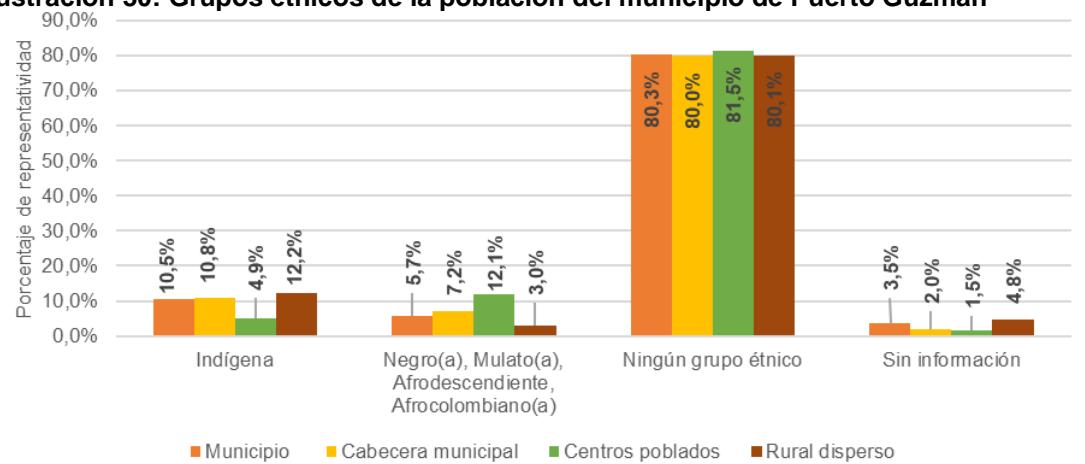
privación en el acceso a fuentes de agua mejorada (en las zonas rurales en un 72%) (Rodríguez, 2021).

Es en definitiva uno de los municipios que más inversión necesita para solventar las necesidades de la población, en especial la población infante, adolescente y adultos jóvenes quienes requieren garantías en educación, salud, agua potable y trabajo. Y con la fuerte migración que presenta, el municipio debe prepararse para acoger las necesidades de estas personas (Rodríguez, 2021).

(iii) Grupos étnicos de la población

La población de Puerto Guzmán está compuesta de forma mayoritaria por colonos¹⁰ arribados de departamentos vecinos y del interior (Nariño, Cauca, Huila y el Eje Cafetero) y, en menor medida, por pueblos indígenas de las etnias nasa e inga (Uribe, 2022). En la Ilustración 30, se hace una comparación de los grupos étnicos.

Ilustración 30: Grupos étnicos de la población del municipio de Puerto Guzmán



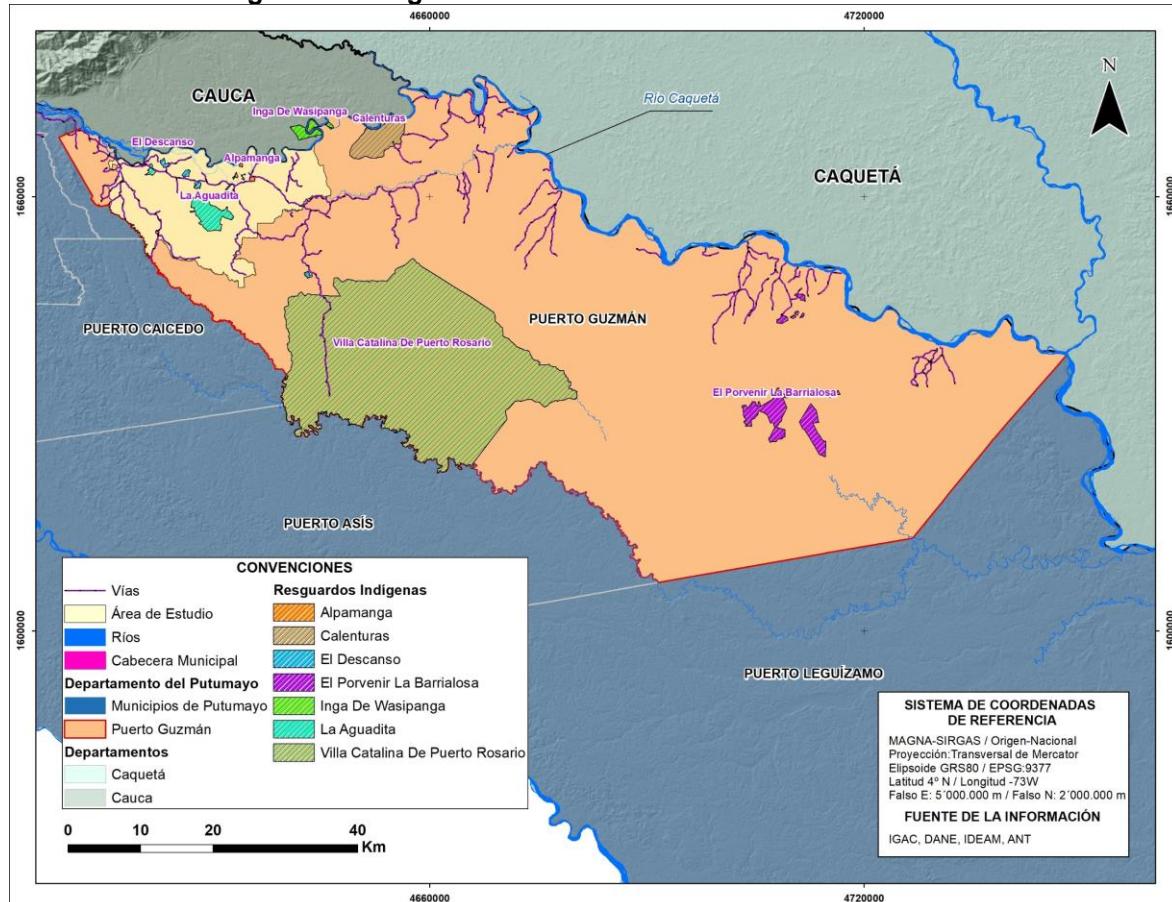
Fuente: adaptado a partir de DANE, 2018

Respecto a las comunidades indígenas ocupan cerca de 750 km² (15,9% del área municipal) (SMT-ONIC, 2022), aparte de que poseen siete resguardos, también cuentan

¹⁰ El término colonos-campesinos hace referencia a grupos de personas provenientes de distintas zonas de Colombia —principalmente de los departamentos Nariño, Cauca, Huila y el Eje Cafetero— que se establecieron en Putumayo después de llevar a cabo un proceso de adquisición/ocupación de tierras (colonización) y, con el cual se instauró una vida familiar y social. Son colonos porque su “lugar de origen” no es Putumayo, y son campesinos porque llevan a cabo actividades productivas relacionadas con el campo (Cancimance A., 2017).

con los siete cabildos, para un total de catorce autoridades indígenas, de los cuales siete son del pueblo inga y siete del pueblo nasa, con una población indígena aproximada de 5.432 habitantes, y la mayoría se localizan en las zonas rurales. Con relación a la tenencia del territorio, viven en territorios tradicionales y asentamientos (CEIR, 2023)

Ilustración 31: Resguardos indígenas de Puerto Guzmán



Respecto a comunidades afrodescendientes, el Ministerio de Interior y la alcaldía de Puerto Guzmán han registrado ocho consejos comunitarios de comunidades negras, de los cuales, tan solo uno no posee territorio colectivo. Estos territorios suman un total de 9.468 ha, que corresponden al 2,08% del área municipal. El número de habitantes registrados es de 1.020 como se muestra en la Tabla 28 (Visión Amazonía, 2019).

Tabla 28: Consejos comunitarios de comunidades negras en el municipio de Puerto Guzmán

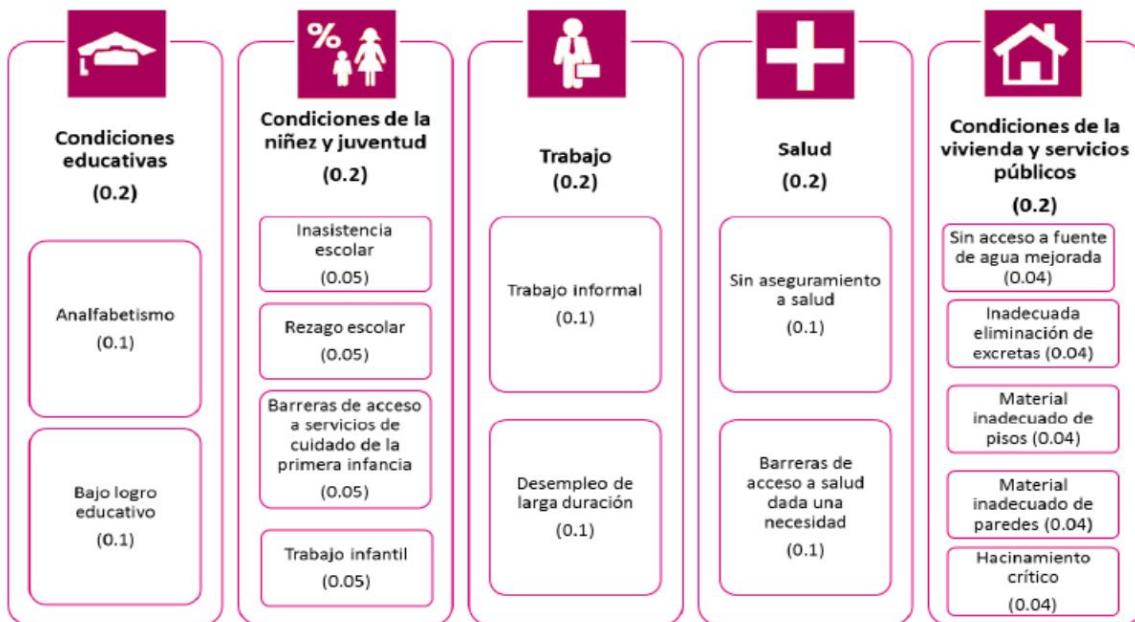
CONSEJO COMUNITARIO	CORREGIMIENTO, VEREDA	RESOLUCIÓN	HECTÁREAS	HABITANTES
Brisas del Caimán	Santa Lucía, Vereda Brisas del Caimán	0427 del 23/06/16 Alcaldía de Puerto Guzmán	20	59
Bututo	San Roque, Vereda Bututo	217 - 08/02/11 Alcaldía de Puerto Guzmán	N/A	100
El Jáuno	El Jáuno, Vereda El Jáuno	109 del 02/11/09 Mininterior y 1475 del 23/07/11 Alcaldía de Puerto Guzmán	170	165
La Aldea	Mayoyoque, Vereda La Aldea	1838 del 06/11/15 Alcaldía de Puerto Guzmán	1.767	153
La Orquídea	Mayoyoque, Vereda La Orquídea	546 del 15/04/15 Alcaldía de Puerto Guzmán	2.000	51
Las Acacias	Puerto Guzmán	079 del 07/08/13 y 033 del 20/06/16 Mininterior	120	114
Palenque Amazónico	Puerto Guzmán	132 del 15/03/16 Alcaldía de Puerto Guzmán	120	73
Santa Lucía-Júpiter	Santa Lucía, Vereda La Aldea	81 del 07/08/13 Mininterior	5.271	305
TOTALES			9.468	1.020

Fuente: Visión Amazonía, 2019

(iv) Índice de pobreza multidimensional

Con la asesoría de la Oxford Poverty and Human Development Initiative, el Gobierno colombiano introdujo en septiembre del 2011 el Índice de Pobreza Multidimensional de Colombia (IPM-C) como un mecanismo para realizar mediciones de pobreza que fueran complementarias a la medición de pobreza monetaria (Angulo, 2016). El IPM-C se construye cada año desde el 2010, a partir de variables recogidas en la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) agrupadas en cinco dimensiones que son: 1) condiciones educativas, 2) condiciones de la niñez y juventud, 3) trabajo, 4) salud y 5) condiciones de la vivienda y servicios públicos domiciliarios. Las cinco dimensiones incluyen quince indicadores (Ilustración 32). Se consideran pobres los hogares que tengan privaciones de al menos el 33% de estos. El IPM-C es una medición que muestra la proporción de la población que tiene privaciones y que le impiden acceder a condiciones apropiadas de calidad de vida (DANE, 2022).

Ilustración 32: Dimensiones e indicadores utilizados para la medición del IPM-C, 2020



Fuente: DANE, 2022

De acuerdo con las estadísticas del DANE a través del CNPV del 2018 (DANE, 2018), el departamento del Putumayo ocupó el decimotercer puesto a nivel nacional en cuanto a incidencia de la pobreza multidimensional. En particular, el municipio de Puerto Guzmán registró un IPM-C del 62,2% para el año 2018, lo que significa que alrededor de 22.013 habitantes tenían privaciones que superaban el 33% de las variables de medición del IPM-C. De igual forma, el IPM-C para las cabeceras municipales fue de 43,1%, mientras que para los centros poblados y rural disperso alcanzó el 68,9%. Asimismo, es posible determinar que las cinco variables con mayor incidencia en la medición del IPM-C de Puerto Guzmán fueron: trabajo informal (93,4%), bajo logro educativo (76,4%), sin acceso a fuente de agua mejorada (53,6%), tasa de dependencia (49,5%) e inadecuada eliminación de excretas (38,6%) (DANE, 2018).

3.2.2 Dinámicas productivas

En este apartado se describen las principales actividades económicas de los pobladores de la zona de estudio tanto lícitas (cultivos agrícolas, ganadería, productos forestales no maderables) como no autorizadas por el estado (cultivos ilícitos, minería ilegal de oro y potrerización). Tristemente, la mayoría de estas incluyen uso inadecuado de los recursos naturales e incluso su destrucción, es decir que son incompatibles con la permanencia de la cobertura forestal. Se basó la selección de las actividades productivas que se presentan en este apartado con base en lo reportado por González et al. (2018b), como las causas

de la deforestación en Colombia en el documento de “Caracterización de las principales causas y agentes de la deforestación a nivel nacional período 2005-2015”. Se presentan las cifras relacionadas con las actividades de interés y luego se relata lo indicado por los autores respecto a por qué son dinámicas y causas asociadas a la deforestación.

(i) Sistemas productivos locales: cultivos de pancoger, coca y ganadería extensiva

Según González et al. (2018b), en el período 2005-2015 en el municipio de Puerto Guzmán, el cultivo de coca fue una causa directa de la deforestación, pero no la principal. Esta actividad constituye una de las principales actividades económicas que perfora el bosque para dar paso a otros usos del suelo con mayor impacto sobre la cobertura forestal; y es generalmente realizada en pequeñas áreas rurales, “asociadas a vías de acceso fluviales o terrestres (generalmente informales), y dentro de áreas boscosas para evadir la detección y el control estatal” (SINCHI, 2014, citado en IDEAM, 2018, p. 132).

Las actividades de los pobladores del área de estudio relacionadas con cultivos a menudo incluyen la siembra de coca (*E. coca*) en pequeñas extensiones (< 5 ha) (Rutas del Conflicto, 2020) y, generalmente, también tienen algo de actividad pecuaria. Es por lo anterior que se dice que los predios de los pobladores cuentan es con “sistemas productivos”, de los cuales se identifican cuatro tipos que se determinan en función de la extensión de las fincas (Tabla 29).

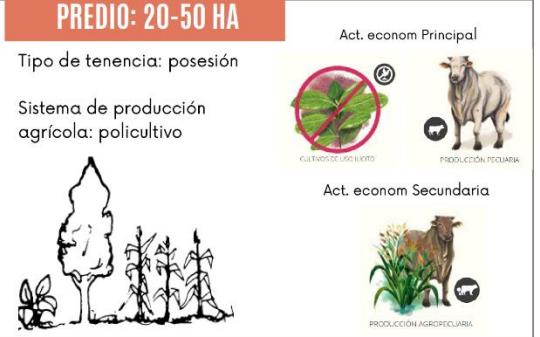
Tabla 29: Caracterización de sistemas productivos - Puerto Guzmán

Extensión de la finca	Principal producto de comercialización	Producto de comercialización secundario	Asistencia técnica	Actividades económicas x fuera sistema productivo
0-20 ha	Coca, plátano, yuca	Ganadería, madera	No	Jornalear
20-50 ha	Coca, ganadería	Yuca, plátano, maíz	No	Jornalear
50-100 ha	Coca, ganadería	Madera	No	Jornalear
100 ha o más	Ganadería	Coca, madera	No	----

Fuente: adaptado a partir de IDEAM, 2018

Otra preocupante causa directa de gran impacto en el área de estudio son los pastizales, que no responden a lógica económica convencional, debido a que los pastos se establecen sin actividad productiva, o con una presencia mínima (o prácticamente simbólica) de ganado. Esta es una de las actividades más críticas de la expansión de la frontera agropecuaria, porque se considera el principal impulsor de cambio en los bosques amazónicos (Visión Amazonía, 2019). Las características de los tipos de sistemas productivos predominantes en las fincas según su extensión se presentan en la Tabla 30.

Tabla 30: Tipo de sistema productivo según la extensión del predio

Predios 0 - 20 ha	Predios 20 - 50 ha
<p>PREDIO DE 0-20 HA</p> <p>Tipo de tenencia: posesión Sistema de producción agrícola: policultivo</p>  <p>Act. economica Principal CULTIVOS DE USO LÍMITADO PRODUCCIÓN AGROPECUARIA Act. econom Secundaria EXTRACCIÓN DE MADERA PRODUCCIÓN PECUARIA</p>	<p>PREDIO: 20-50 HA</p> <p>Tipo de tenencia: posesión Sistema de producción agrícola: policultivo</p>  <p>Act. economica Principal CULTIVOS DE USO LÍMITADO PRODUCCIÓN PECUARIA Act. econom Secundaria PRODUCCIÓN AGROPECUARIA</p>
<p>Predios 50 - 100 ha</p> <p>PREDIO: 50-100 HA</p> <p>Tipo de tenencia: posesión Sistema de producción agrícola: policultivo</p>  <p>Act. economica Principal CULTIVOS DE USO LÍMITADO PRODUCCIÓN PECUARIA Act. econom Secundaria EXTRACCIÓN DE MADERA</p>	<p>Predios >100 ha</p> <p>PREDIO: >100 HA</p> <p>Tipo de tenencia: propietarios Sistema de producción agrícola: monocultivo</p>  <p>Act. economica Principal PRODUCCIÓN PECUARIA PROPIEDAD Act. econom Secundaria CULTIVOS DE USO LÍMITADO EXTRACCIÓN DE MADERA</p>

Fuente: adaptado a partir de (MEROS, 2017). Fuente imágenes: Armenteras et al., 2018 y Geilfus, 1994. Software: Canva

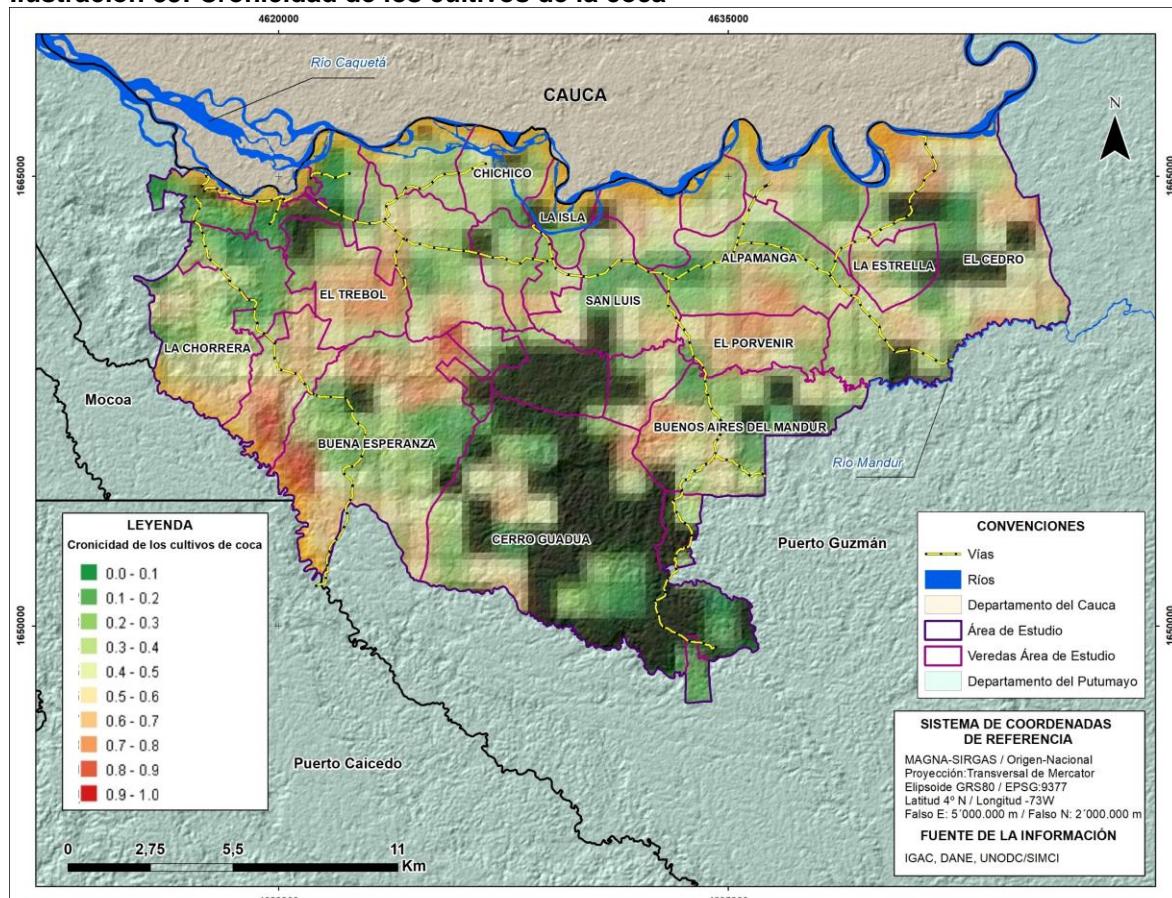
(ii) Economías ilegales

De otra parte, se encuentran las economías ilegales relacionadas con la minería ilegal y el narcotráfico. La problemática socioambiental que se presenta actualmente con la minería ilegal, de explotación de oro de aluvión principalmente, se debe a que, la minería ilegal se convirtió en una actividad económica y productiva para muchas familias sin otras oportunidades de sustento económico. Durante mucho tiempo el municipio fue un territorio de guerra, entre el Ejército Nacional, la extinta guerrilla de las FARC y los grupos paramilitares, lo que también determinó su configuración socioambiental (SINCHI, 2022). Algunas familias del municipio se han dedicado por generaciones a la extracción de oro de manera artesanal, como una actividad para garantizar su subsistencia, dicha actividad más recientemente ha vinculado maquinaria pesada y está causando contaminación de los ríos Caquetá, Mandur y sus afluentes. Según el informe: *Colombia Explotación de Oro de Aluvión* de UNODC, se evidencia, gracias a la percepción remota, que Puerto Guzmán es uno de los municipios con alerta por presencia de explotación de oro de aluvión (EVOA) en agua 2019 (UNODC, 2022).

En lo referente al cultivo de coca, este ha aumentado exponencialmente en la región Putumayo - Caquetá, pasando de 4.785 ha sembradas en 2010 a 31.874 ha en 2018 (UNODC-SIMCI, 2021). Del visor del Observatorio de drogas de Colombia (UNODC, 2023) se extrajeron los mapas de la Ilustración 33: Cronicidad de los cultivos de la coca, la Ilustración 34: Densidad del cultivo de la coca y la Ilustración 35: Distribución regional según la permanencia de la coca. El primero “muestra la permanencia de los cultivos de coca en el territorio en relación con las estrategias de prohibición como la erradicación manual forzosa y la aspersión aérea” (MINJUSTICIA, 2017, p. 3). Los valores resultantes se expresan en valores de 0 a 1 en donde:

“Valores de 0 hacen referencia a territorios sin afectación y sin intervención. Valores cercanos a 0 hacen referencia a zonas en donde la afectación es baja y se presenta la intervención de manera intermitente. Valores cercanos a 0,5 hacen referencia a zonas en donde tanto la afectación y la intervención es fluctuante. Valores cercanos a 1 hacen referencia a zonas la afectación y la intervención del territorio son altas” (UNODC, 2023b, p.2).

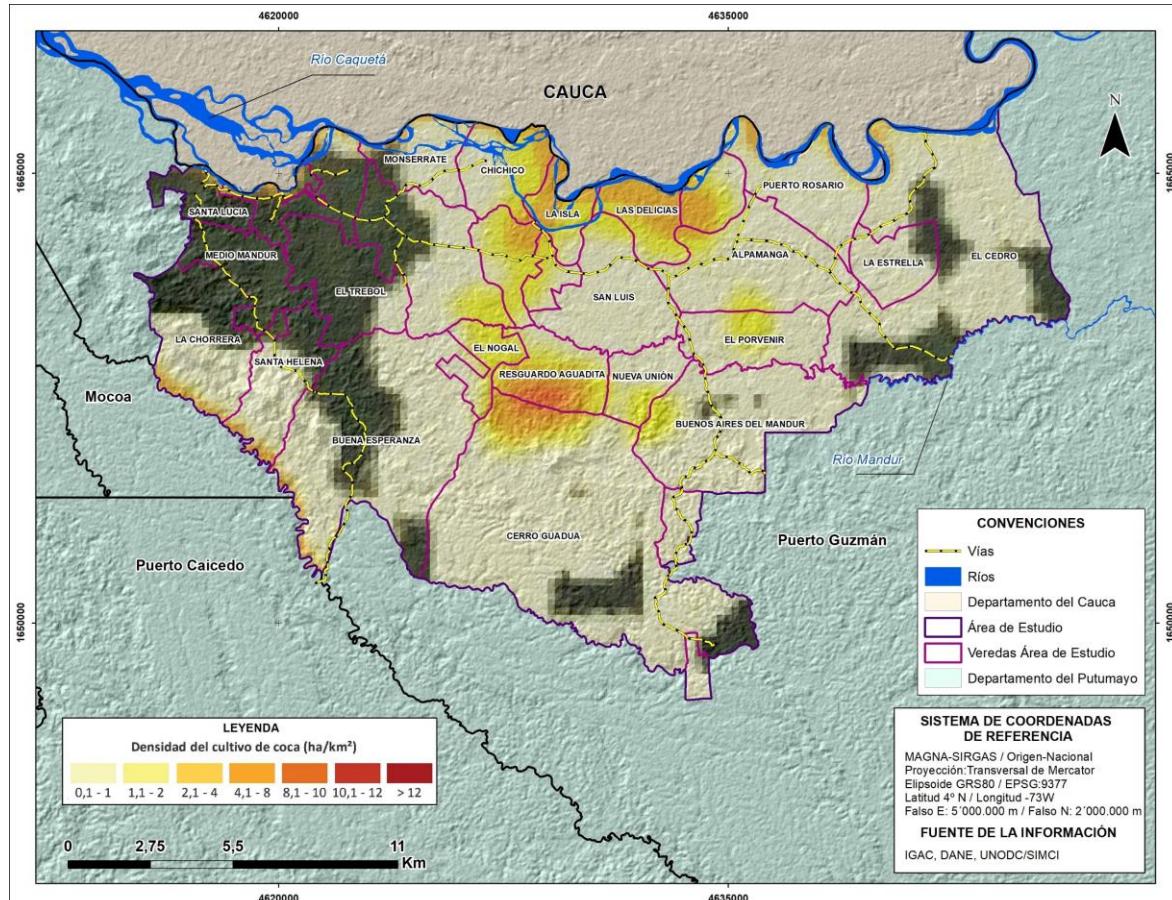
Ilustración 33: Cronicidad de los cultivos de la coca



Fuente: adaptado a partir de UNODC, 2023

El segundo “muestra el número de hectáreas sembradas con coca por kilómetro cuadrado” (MINJUSTICIA, 2017, p. 3).

Ilustración 34: Densidad del cultivo de la coca



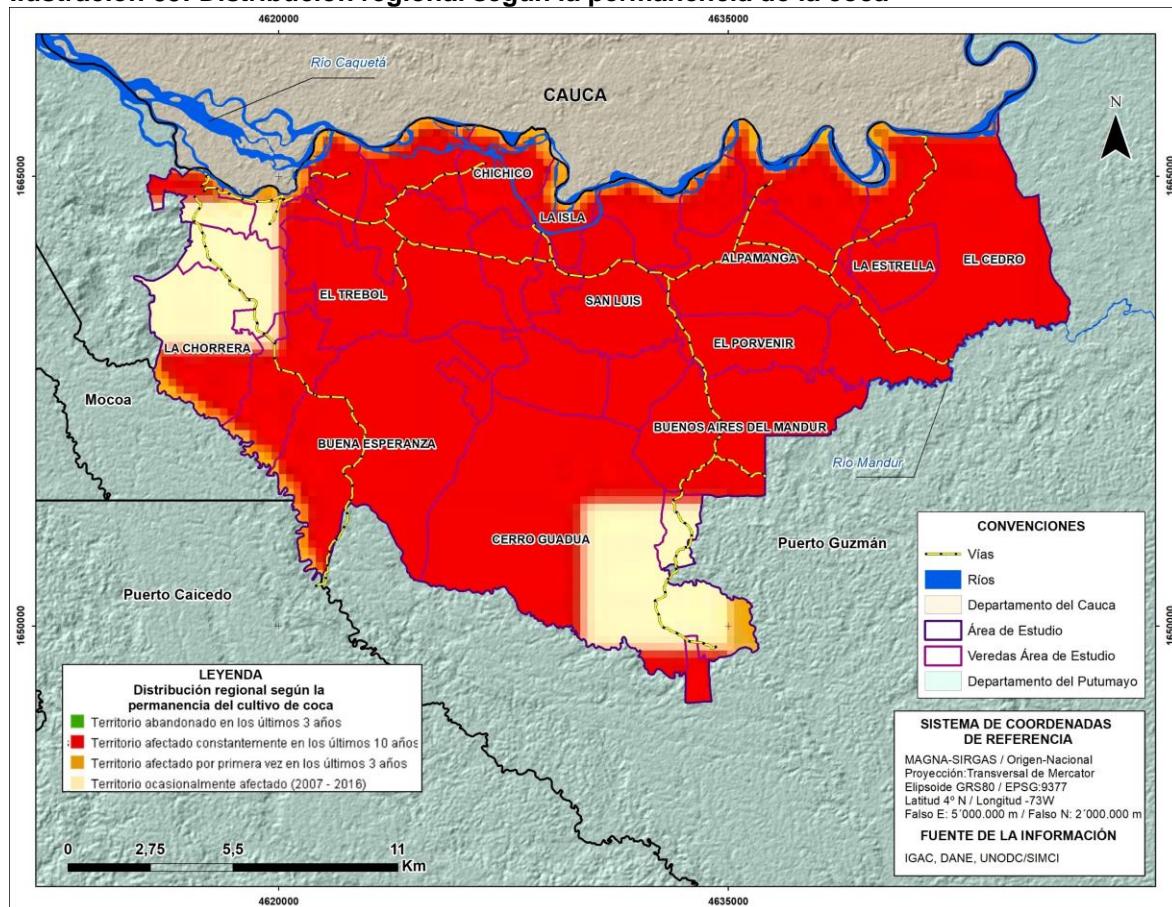
Fuente: adaptado a partir de UNODC, 2023

Finalmente, el tercero “señala la tendencia de una grilla de 25 km² hacia la permanencia de cultivos ilícitos en un marco temporal y espacial.

Para el área de estudio, se tiene que la mayoría es un territorio afectado constantemente en los últimos diez años (áreas en rojo) y con algunas áreas con la categoría de territorio ocasionalmente afectado (áreas en color beige) (Ilustración 35).

Este tipo de actividades productivas han sido una de las principales promotoras del fortalecimiento y permanencia del conflicto armado en el departamento, viéndose especialmente afectado por ser parte de la ruta del narcotráfico gracias a su particularidad de zona de frontera y las redes fluviales que permiten el transporte de mercancías (Rodríguez, 2021).

Ilustración 35: Distribución regional según la permanencia de la coca

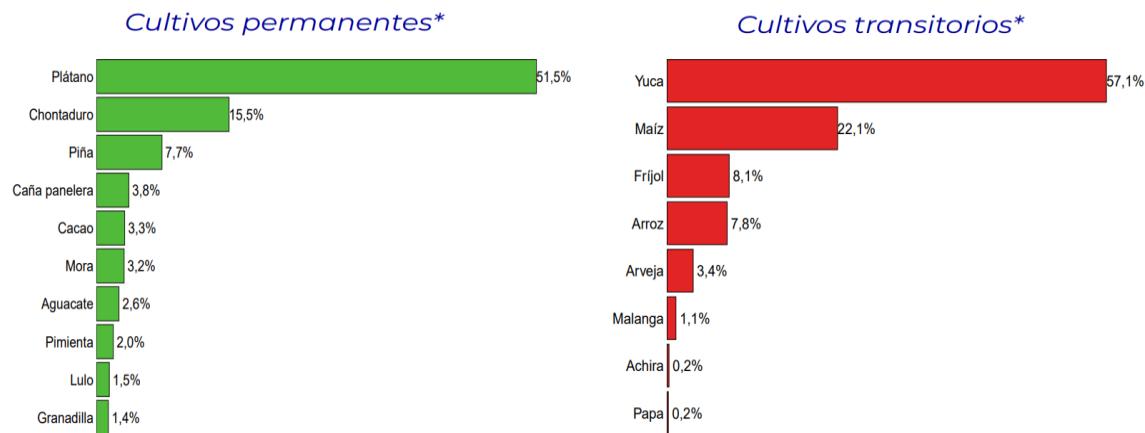


Fuente: adaptado a partir de UNODC, 2023

(iii) Actividades agrícolas y métodos de extracción de los productos agrícolas

El área en uso agropecuario del departamento del Putumayo es de 644.871 ha, y con uso agrícola es de 81.470 ha. En lo que respecta a la agricultura (6,4% del departamento) sobresalen los cultivos de productos tradicionales y frutales como Plátano (51,5% de los cultivos permanentes – 9.666 ha) y Yuca (57,1% de los cultivos transitorios – 2.402 ha), pero destacando también el Maíz (2.140 ha), el Cacao (5.357 ha), la Caña Panelera (2.000 ha) y el Chontaduro (3.661 ha), principalmente (Gobernación del Putumayo, 2020a). Casi la mitad de los cultivos de Yuca (1.000 ha) se localizan en Puerto Guzmán, que también alberga el 20% de toda el área cultivada en Plátano - Ilustración 36 (MINCIT, 2023).

Ilustración 36: Cultivos permanentes y transitorios de Puerto Guzmán 2021



Fuente: Base Agrícola EVA - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Fecha de Publicación: 28 de junio de 2021 -* Reporte 2020 (MINCIT, 2023)

A continuación, se analizan los desafíos en el transporte de productos agrícolas en el municipio de Puerto Guzmán, los productores viven mayoritariamente a orillas del río Caquetá y tienen dos métodos de transporte, fluvial y terrestre. Los ríos son el principal sistema de transporte dentro del área y le permiten al campesino el transporte de los productos hacia las cabeceras municipales y viceversa (Ilustración 37).

Ilustración 37: Barcaza que moviliza pasajeros, abarrotes, insumos agropecuarios, combustibles en el río Caquetá



En primera medida deben transportar sus productos hasta el caserío de la vereda en bote o deslizadores, lugar en el cual pueden darse dos situaciones: uno, que el comprador mayorista les compre y sea él quien se encargue desde este punto de transportarlo en camión hasta la cabecera municipal de Puerto Guzmán, Mocoa o Villagarzón, y en algunos casos hasta Pitalito, y dos, que el mismo productor los transporte a las cabeceras municipales descritas anteriormente para su comercialización, ya sea en camionetas o camiones (según volumen de cosecha). Los productores que viven más cerca al caserío pueden ser a una hora de camino, transportan sus productos por vía terrestre, ya sea en moto o por tracción animal (mulas), hasta el caserío, en donde igualmente se pueden dar los dos sucesos en mención.

Los botes de madera con motor fuera de borda son el medio de transporte más empleado, utilizados por la población para desplazarse especialmente por los ríos Caquetá, Mandur y Mecaya. También se desplazan por caños y quebradas que desembocan en los ríos mencionados. En general las condiciones de navegabilidad se ven fuertemente limitadas por el aporte de caudales desde la parte alta de sus cuencas, debido a su grado de colmatación, el cual ha disminuido la capacidad de los motores que pueden navegar por dichos ríos y caños.

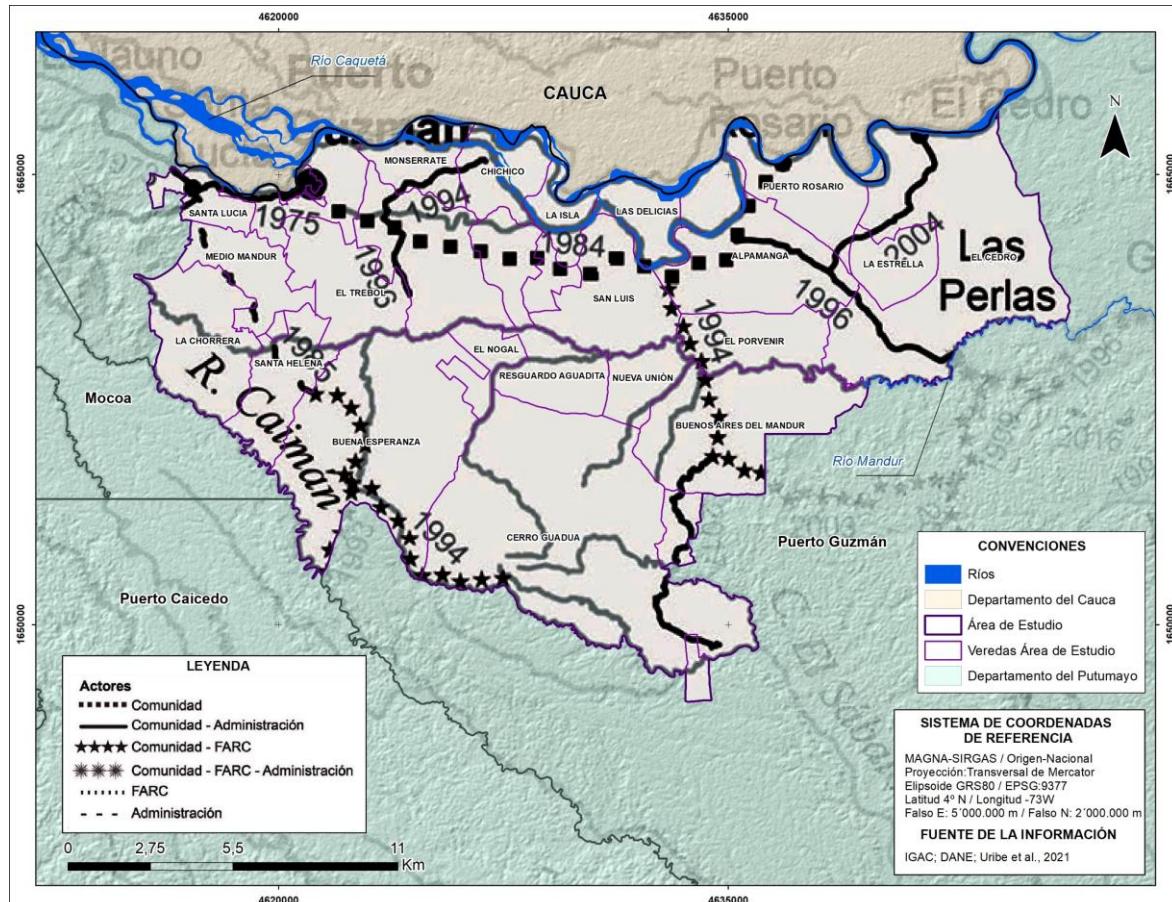
La navegabilidad se ve demasiado afectada en las épocas de menor precipitación pluvial. El sistema de transporte en el momento se puede considerar como débil, ya que se limita a algunas vías terciarias de bajas especificaciones que se encuentran en la periferia de esta y que dificultan el acceso a diferentes sitios. Existen numerosos caminos de herradura que carecen de mantenimiento adecuado para facilitar el transporte de personas y de los productos que obtienen en sus predios (UD-CORPOAMAZONIA, 2003).

Es preciso mencionar, que se dio un momento alrededor de los años 90, en el cual, las FARC¹¹ comenzaron a promover la apertura de carreteras (Ilustración 38):

“Este cambio se asocia a la presión ejercida por las Juntas de Acción Comunal (JAC), en el marco de las marchas cocaleras de mediados de los noventa. En efecto, a partir de este momento se inició un periodo de apertura de vías en distintos puntos del municipio, para varias de las cuales, la gente reconoce, hubo participación de la guerrilla. De cualquier forma, esta transición difícilmente se habría dado de no existir la relación descrita entre FARC, colonización y coca” (Uribe et al., 2021, p. 93).

¹¹ Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia

Ilustración 38: Vías del área de estudio diferenciadas por actores involucrados en su apertura



Fuente: adaptado a partir de Uribe et al., 2021, p. 94

(iv) La ganadería extensiva

Partiendo de la hipótesis de que la ganadería es una de las principales causas de deforestación en el municipio de Puerto Guzmán a continuación se realiza una descripción detallada de esta actividad. En cuanto al tema de ganadería y leche, los productores comercializan en mayor cantidad la venta de ganado bovino en pie, por tanto, el desplazamiento de los semovientes se realiza igualmente en bote sosteniendo al ganado en tanto pasan el río, hasta el caserío, y de este se transportan por vía terrestre hasta los municipios de Puerto Guzmán, Mocoa y Villagarzón, también se usan lanchones para llevarlo, pero es necesario tener en cuenta que, siendo la movilización río arriba, el gasto de combustible es considerable (Ilustración 39). En cuanto a productos como la leche y derivados como el queso, se transporta en tinas siguiendo la misma ruta fluvial y terrestre. Sin embargo, se aclara que, en su mayoría, se observa que la leche se distribuye más en

el medio local, en cuyas circunstancias algunas fincas tienen su punto de venta en su zona residencial y la clientela llega hasta esta para su compra directa.

Ilustración 39: Movilización de ganado por el río Caquetá

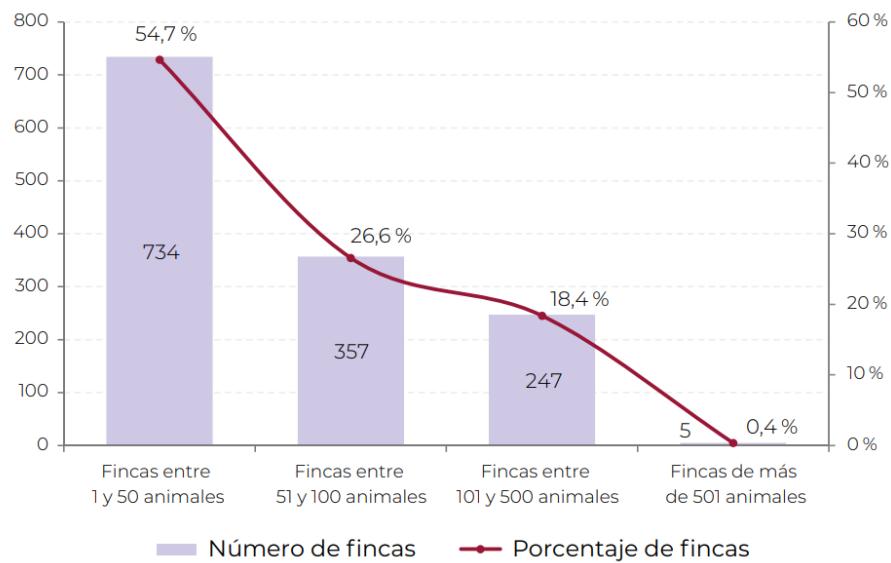


Las actividades pecuarias de Puerto Guzmán se relacionan básicamente con la cría de ganado vacuno. Para el año 2020 se reportó una población de 110.803 bovinos, repartidas en 1.646 predios del municipio (ICA, 2020). Si se compara con lo reportado en el 2005, con una población de 19.606 cabezas de ganado establecidas en 18.500 ha de pasto, se tiene un incremento de casi el 500% en la actividad ganadera en un lapso de catorce años (Gobernación del Putumayo, 2020b).

En lo que concierne a predios ganaderos, de acuerdo con las cifras del ICA, el municipio de Puerto Guzmán contaba en el 2020 con 1.343 fincas, las cuales se distribuyeron de la siguiente manera: 734 fincas tienen entre 1 y 50 animales y pertenecen al 54,7%, 357 fincas que poseen entre 51 y 100 animales corresponden al 26,6%, 247 fincas, en donde se encuentran entre 101 y 500 animales, equivalen al 18,4%, y 5 fincas cuentan con más de 501 animales y hacen parte de un 0,4% (ICA, 2021).

“De manera general para la región, cuanto mayor es el hato ganadero, existe mayor especialización del producto y es mayor la extensión que ocupa la práctica. Mientras que la actividad en pequeña y mediana escala se suele destinar a la producción de lácteos y carne, la desarrollada a gran escala se dedica casi exclusivamente a la cría y levante de ganado con mínima concentración de animales” (SINCHI, 2014, p. 136).

Ilustración 40: Puerto Guzmán: fincas bovinas, 2020



Fuente: CEIR (2023) con base en ICA (2021)

Por otra parte, en el año 2020, a nivel departamental, se contabilizaron 295.354 bovinos, de los cuales el municipio de Puerto Guzmán aportó el 30,9% con 91.302 animales, con la mayor contribución en los machos entre 2 y 3 años con un 39,8%, equivalente a 11.825 animales, mientras que el aporte más bajo se dio en los machos mayores de 3 años con 1.895 bovinos pertenecientes al 22,2% como lo muestra la Tabla 31.

En cuanto a las fincas ganaderas, de acuerdo con las cifras del ICA (2021), para el año 2020, a nivel departamental, existían 8.365 predios ganaderos, de los cuales 1.343 se encontraban ubicados en Puerto Guzmán y corresponden al 16,1% del total departamental. La contribución más alta del municipio se dio en las fincas que manejaban entre 101 a 500 animales (48,1%), mientras que el aporte más bajo se dio en las fincas que tienen entre 1 a 50 animales (10,6%).

Tabla 31: Puerto Guzmán: población y fincas bovinas, 2020

Departamento/ municipio	Terneras < 1 año	Terneros < 1 año	Hembras 1-2 años	Machos 1-2 años	Hembras 2-3 años	Machos 2-3 años	Hembras > 3 años	Machos > 3 años	Total bovinos	N.º de fincas: 1-50	N.º de fincas: 51-100	N.º de fincas: 101-500	N.º de fincas: 501 o más	Total fincas con bovinos
Putumayo	32.246	37.216	30.730	35.118	27.989	29.700	93.830	8.525	295.354	6.928	900	513	24	8.365
Puerto Guzmán	9.787	12.435	8.063	12.435	8.459	11.825	26.403	1.895	91.302	734	357	247	5	1.343
Puerto Guzmán (participación respecto al departamento)	30,4 %	33,4 %	26,2 %	35,4 %	30,2 %	39,8 %	28,1 %	22,2 %	30,9 %	10,6 %	39,7 %	48,1 %	20,8 %	16,1 %

Fuente: CEIR (2023) con base en ICA (2021)

En la Amazonía colombiana, y el área de estudio no es la excepción, la ganadería se usa como una forma de ocupar el territorio y adueñarse de la tierra, es decir una forma de asegurar la posesión siendo una actividad más valiosa o lucrativa que explotar la carne o la leche (Kaimowitz, 2019). Según datos del IDEAM, en el área de estudio la densidad de cabezas de ganado es de 0,8 cabezas/ha y un 22,5% de los pastos sembrados no tienen uso (IDEAM, 2018).

Los predios con ganadería extensiva se caracterizan porque una vez los ganados agotan los pastos, talan árboles y queman nuevas áreas para sembrar nuevo pasto. Pero cuando esta dinámica se da con fines de ocupación y expectativas de tenencia, se habla de praderización, cuyo fin no es tener vacas, sino, apoderarse de más tierras y aumentar el tamaño de los predios. Esta dinámica se asocia a predios superiores a las 200 ha, debido a que, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (González et al., 2018b), estableció que, a altos índices de concentración de la tierra en un solo poseedor o propietario, les corresponden mayores usos del suelo en pastos.

Frente a la concentración de la tierra en el Putumayo, según datos de la UPRA, al 2019, 23.930 predios rurales que son el 46% de menos de 1 ha suman tan solo 3.534 ha (Tabla 32), evidenciando una alta concentración en manos de pocos propietarios, porque más de un millón de hectáreas están en manos de once propietarios. Esto se debe a una auto adjudicación de los terrenos, en donde desmontan y ya con eso se apropián, siendo esta poterización financiada “por cada hectárea de bosque tumbada y quemada, las mafias siguen pagando hasta cinco millones de pesos”. Semana Sostenible, 2021, p. 21.

Esto se comprueba en cifras, debido a que, el 79% de los predios rurales del total del departamento presentan situaciones técnicas y jurídicas informales o imperfectas que generan inseguridad jurídica y limitan el acceso a la oferta institucional (UPRA, 2019).

Tabla 32: Rangos de tamaño predial Putumayo en contraste área de estudio

Datos prediales Putumayo

Rango de Tamaño	Predios**	Propietarios*	Área (ha)
≤ 0,5 ha	21309	23175	1.462
> 0,5 y ≤ 1 ha	2621	2915	2.072
> 1 y ≤ 2,5 ha	4634	5209	7.905
> 2,5 y ≤ 3 ha	1201	1378	3.358
> 3 y ≤ 5 ha	3596	4074	14.302
> 5 y ≤ 10 ha	5023	5805	36.763
> 10 y ≤ 20 ha	4827	5733	70.044
> 20 y ≤ 50 ha	5539	6802	180.332
> 50 y ≤ 100 ha	2142	2663	147.914
> 100 y ≤ 200 ha	655	809	86.006
> 200 y ≤ 500 ha	187	218	54.380
> 500 y ≤ 1.000 ha	65	65	48.338
> 1.000 y ≤ 2.000 ha	80	80	115.584
> 2.000 y ≤ 5.000 ha	72	72	210.045
> 5.000 y ≤ 10.000 ha	20	20	142.407
> 10.000 ha	11	11	1.153.886
Total***	51.982	59.029	2.274.799

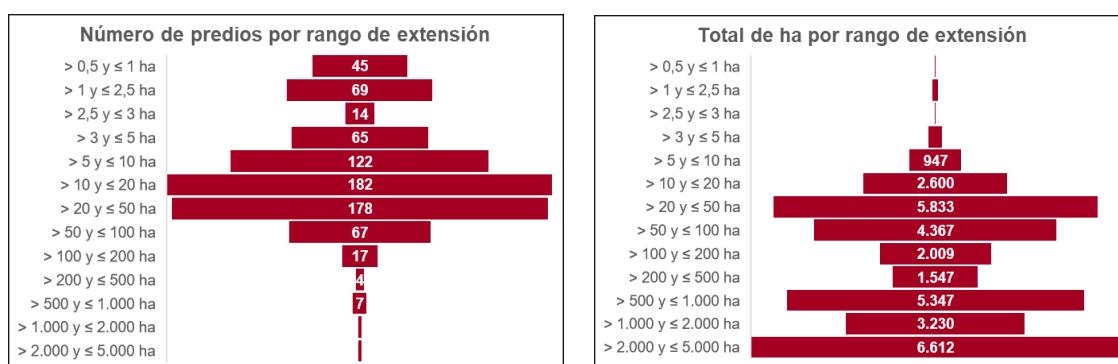
Datos prediales área de estudio

ID	Rango de Tamaño	Predios	Área (ha)	% Predios	% Área (ha)
1	≤ 0,5 ha	1.883	55,70	NA	NA
2	> 0,5 y ≤ 1 ha	45	33,81	5,81%	0,10%
3	> 1 y ≤ 2,5 ha	69	104,66	8,91%	0,32%
4	> 2,5 y ≤ 3 ha	14	38,44	1,81%	0,12%
5	> 3 y ≤ 5 ha	65	257,33	8,40%	0,78%
6	> 5 y ≤ 10 ha	122	947,17	15,76%	2,88%
7	> 10 y ≤ 20 ha	182	2.600,01	23,51%	7,90%
8	> 20 y ≤ 50 ha	178	5.832,67	23,00%	17,71%
9	> 50 y ≤ 100 ha	67	4.366,81	8,66%	13,26%
10	> 100 y ≤ 200 ha	17	2.009,27	2,20%	6,10%
11	> 200 y ≤ 500 ha	4	1.547,48	0,52%	4,70%
12	> 500 y ≤ 1.000 ha	7	5.347,20	0,90%	16,24%
13	> 1.000 y ≤ 2.000 ha	2	3.229,95	0,26%	9,81%
14	> 2.000 y ≤ 5.000 ha	2	6.611,85	0,26%	20,08%
	Total	2.657	32.982,35		
	Total Análisis	774	32.927	100%	100%

Fuente. UPRA, 2019 e IGAC, 2023

Respecto a la información predial reportada para el área de estudio en el 2023, en la Base de datos Catastrales Cobertura Departamental (IGAC, 2023), se omite la información de los predios con áreas menores a media hectárea, por ubicarse en área urbana en su mayoría. Ahora bien, revisando los datos prediales del área de estudio que se muestran en la Tabla 33, se evidencia una alta proporción de cantidad de predios entre 5 y 10 ha (15,76%), entre 10 y 20 ha (23,51%), entre 20 y 50 ha (23%), entre 50 y 100 (8,66%) y entre estas cuatro categorías concentran un 41,75% del área con 13.746,66 ha en 549 predios, mientras que, cuatro propietarios, con extensiones entre 1.000 y 5.000 ha, concentran el 29,89% del área con 9.841,81 ha.

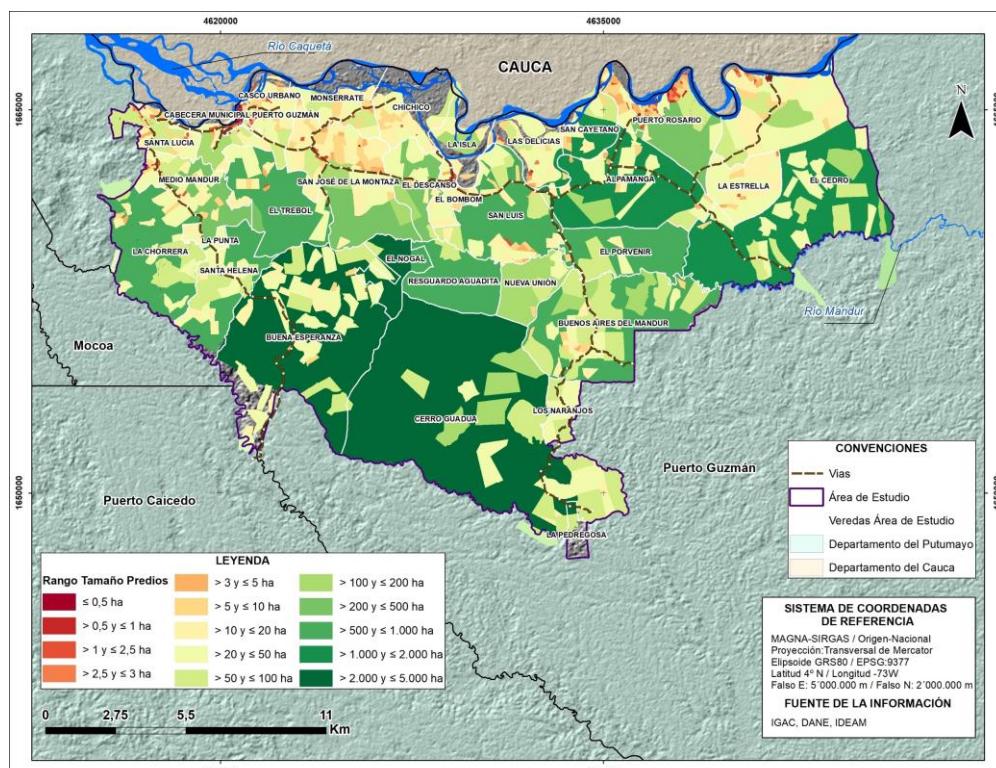
Tabla 33: Número de predios por rango de extensión y total de ha en el área de estudio



Fuente: IGAC, 2023

En la Ilustración 41 se puede ver la ubicación de los predios categorizados por extensión.

Ilustración 41: Mapa predial área de estudio



Fuente: adaptado IGAC, 2023

La extensión de los predios entre 10 y 50 ha, obedece a que, en estas ubicaciones de clima cálido y suelos pobres en nutrientes, la ganadería es de carácter extensivo, donde el campesino culturalmente requiere grandes extensiones de tierra para consolidar su hato ganadero con un número alto de cabezas de ganado. A esto se añade, que no existe un sistema de cruzamiento dirigido a la producción especializada de leche o carne y se prioriza la rusticidad y adaptabilidad del ganado a las condiciones de clima, suelo y déficit nutricional de las pasturas de la zona (Guarnizo et al., 2020).

Sin embargo, en el contexto espacial de la Amazonía (con un promedio de 0,7 cabezas /ha¹², muy inferior al promedio nacional de 1,2 cabezas/ha¹³), algunos estudios como el adelantado por Dávalos et al. (2014), permiten inferir directa o indirectamente que las labores ganaderas, para la mayoría de los finqueros, les generan pocas e incluso ninguna utilidad monetaria (pérdidas) y que en esta zona del país existen otras razones aún más determinantes para impulsar ese particular cambio de uso del suelo (bosque nativo hacia pastos), como las descritas a continuación (Guarnizo et al., 2020, p. 6):

“1. Titulación de tierras: la Ley 135 de 1961 y posteriormente la Ley 160 de 1994 le exige a quien solicite la adjudicación de un predio, demostrar que tiene bajo producción económica al menos las 2/3 partes de su área total. En este orden de ideas, para un colono la manera más favorable de obtener el título es deforestando, sembrando pastos y comprando ganado, lo cual le permite conseguir dos beneficios, por una parte, formalizar la propiedad y, por otro lado, desarrollar un sistema productivo. En términos generales, esta directriz normativa ha originado significativas afectaciones al bosque natural y los servicios ecosistémicos que provee, convirtiéndose así en uno de los principales motores de la deforestación generada a escala nacional y de lo cual no es ajena la Amazonía colombiana.

2. Respaldo financiero: para el colono, ante la escasa posibilidad de poder acceder a mecanismos formales de ahorro o crédito (sistema bancario), el ganado se

¹² Se tiene que, de las 19.266 áreas destinadas para la ganadería de los predios encuestados en los departamentos de Caquetá y Putumayo, hay en total 13.739 cabezas de ganado, lo que nos indica un promedio de 0,7 cabezas /ha, es decir se tiene un manejo de menos de una cabeza por ha (Guarnizo et al., 2020, p. 18).

¹³ Según el informe revelado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, en 2014 había 21 millones 500 mil cabezas en territorio colombiano y la capacidad de carga animal había aumentado a 1,2 cabezas de ganado por hectárea. Podemos mencionar que, de acuerdo con los estimados por FEDEGAN en 2009, la capacidad de carga aparecida en el estudio sigue estable, teniendo en cuenta que a 2018 no se tiene un avance significativo en la capacidad de carga por hectárea ha (Guarnizo et al., 2020, p. 17).

convierte en la mejor alternativa de respaldar un préstamo, “guardar” e incrementar sus recursos monetarios, o tener solvencia económica convirtiendo rápido su inversión en dinero efectivo mediante la venta de animales. Esta percepción de la ganadería, como amparo financiero, se constituye hoy día en otro factor que ha sido determinante en el cambio de cobertura del suelo, a escala predial, porque todo aumento del hato ganadero requiere una mayor área cubierta de pastos, lo cual casi siempre se consigue deforestando el bosque nativo amazónico”.

La ganadería en las áreas de colonización del bosque húmedo tropical, más que una forma de producción es ante todo una forma de ocupación del territorio (Murgueitio & Calle, 1999). Desde el punto de vista ambiental, este tipo de ganadería representa una forma ineficiente para el uso del suelo, con una bajísima densidad humana, apenas superior a la que se presenta en la selva misma (Yepes, 2001). En los departamentos de la región amazónica donde se practica la ganadería extensiva, se concibe esta práctica como la mejor alternativa productiva, sin embargo, la producción de leche y carne en la región dejan márgenes de la rentabilidad muy bajos.

Esta expansión y consolidación de grandes zonas de pastos, es propiciada por productores bovinos y praderizadores, agentes que generalmente cuentan con poder adquisitivo y no suelen vivir en las zonas que afectan con su actividad, por ende, carece de arraigo con el territorio. El praderizador se diferencia del productor bovino, en que, el primero puede contar con algo de ganado, pero este es insuficiente para subsistir, él busca “la acumulación de riqueza en un mercado de tierras no regulado” (p. 92), mientras que, el productor bovino “suele estar vinculado a organizaciones regionales y nacionales que promueven y regulan la actividad (ej., Fedegán)” (p.90), es decir, su acumulación de riqueza se da en un “mercado regulado” (González et al., 2018b).

Es difícil contar con información más puntual de las actividades relacionadas con la ganadería, como por ejemplo la extensión real de las áreas que tienen pastos para esta actividad, debido a que los pobladores generalmente poseen extensiones de tierra en lugares diferentes y viven cerca de las vías en donde tienen cultivos lícitos y la vivienda, pero ejercen posesión de porciones de los baldíos de la nación. Estas posesiones se localizan en área donde prima la cobertura de bosque y abren parches mediante actividades de roza-tumba-quema para sembrar pastos y tener ganado de forma extensiva o para establecer cultivos ilícitos. Es difícil tener evidencia de esto, porque cuando se

requiere vacunar el ganado¹⁴ los pobladores mueven el ganado de los potreros que se encuentran dentro del bosque, hasta las viviendas. Además, que no existe normatividad alguna respecto a revisar donde pastan los ganados o que los animales cuenten con chip de rastreo¹⁵.

Esta dinámica de praderización se ha visto incrementada posteriormente a la firma de los acuerdos de paz, debido a que durante los dos años posteriores al proceso de paz (2017 - 2018) hubo un aumento significativo, superior al 70%, de la deforestación en las zonas que solían ser controladas por las FARC, particularmente en departamentos como Putumayo, Caquetá y Meta. Su ausencia permitió el regreso de terratenientes interesados en el suelo para expandir la frontera agropecuaria, particularmente el área dedicada al ganado. Quienes se aprovechan de la ausencia del Estado y de la mala delimitación y distribución de la tierra para comprar terrenos y talar la selva sin ningún impedimento. En el 2021, la Amazonía concentró el 70% de la deforestación del país, según cifras del Ministerio de Ambiente (Carvajal, 2023).

Infortunadamente, iniciativas como la Operación Artemisa (que buscaba militarizar varias zonas del sur del país para tratar de parar la deforestación) fracasaron en sus objetivos. No solo no pudieron desmantelar a los grupos responsables, sino que, con frecuencia, daban como resultado enfrentamientos con el campesinado o las comunidades nativas. Fue un plan de costos elevados y resultados mínimos. El 2022 cerró con un incremento del 10% en la deforestación respecto del 2021 y una promesa del nuevo gobierno: centrarse más plenamente en los cabecillas durante los operativos y comenzar a investigar los fondos que compran terrenos en el Amazonas (Carvajal, 2023).

(v) Uso de los productos forestales no maderables

Los productos no maderables desempeñan un papel crucial en la lucha contra la deforestación. Al ofrecer alternativas económicas a la tala de árboles, como la recolección sostenible de frutas, hierbas y otros recursos, se diversifican las fuentes de ingresos de las

¹⁴ Los datos de la población bovina del ICA reportados por la gobernación corresponden a la información de la vacunación de aftosa y brucelosis, ya que, el propietario indica la cantidad de ganado que tiene para que el vacunador lleve el número de vacunas correspondiente (Franco O. , 2011).

¹⁵ El llamado lavado de ganado se trata de una estrategia con la cual los ganaderos y comerciantes transportan vacas criadas en las zonas prohibidas o restringidas, hacia lugares donde puedan mezclarlas con animales con orígenes permitidos para así poderlas vender a centros de sacrificio (Olaya et al., 2022).

comunidades locales. Esta diversificación reduce la presión sobre los bosques, al tiempo que fomenta la conservación y el manejo sostenible de estos ecosistemas. A través de los últimos años la región amazónica ha tenido varios cambios, no solo en el incremento de su población, sino también en diversos aspectos sociales, económicos y ambientales. El crecimiento poblacional demanda nuevas apuestas económicas, que permitan un desarrollo sostenible y que tomen en consideración el contexto local y sus ventajas. El aprovechamiento sostenible de los recursos no maderables del bosque es una alternativa atractiva y viable para el desarrollo regional. Por ello, se están impulsando estrategias productivas, que buscan mejorar los métodos de recolección, aprovechamiento y manejo de especies frutales, que permitan fortalecer su encadenamiento productivo de manera sostenible (CORPOCAMPO, 2021).

3.2.3 Contexto del conflicto armado

Puerto Guzmán es uno de los municipios amazónicos más afectados por el conflicto armado, incluso con posterioridad a la desmovilización de la guerrilla de las FARC (Uribe & Guzmán, 2022). Según el “Análisis cartográfico del posconflicto en el departamento del Putumayo”, en Puerto Guzmán hay registradas 3.417 personas víctimas de desplazamiento forzado. Según el informe “Análisis de conflictividades y construcción de paz - Putumayo” del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), se estima que tan solo entre 2007 y 2010, 2.532 personas fueron desplazadas de Puerto Guzmán. El mismo informe afirma que en 2013, el Frente 32 de la guerrilla tenía ‘en vigencia’ un manual de convivencia en la zona urbana de Puerto Guzmán, que incluía horarios de libre tránsito, registro obligatorio de habitantes, entre otros (Rutas del Conflicto, 2020).

El poblamiento de Puerto Guzmán se ha dado en gran parte por bonanzas económicas, que en la Amazonía han estado muy ligadas a los auges extractivos (Arcila, 2010), que a su vez han sido impulsados o facilitados por la apertura de carreteras (Uribe et al., 2021). La violencia empezó los años posteriores a la fundación de Puerto Guzmán, cuando el asentamiento se convirtió en el principal puerto comercial, por una bonanza del plátano y la ausencia de policía. La violencia asociada a la época de bonanza del plátano fue intensa, pero localizada y breve en el tiempo. En la década de 1980 irrumpió un nuevo producto —la coca—, y de la mano de esta un nuevo actor —la guerrilla—, que cambiarían drásticamente la cara de Puerto Guzmán y de la región en general. Luego de la bonanza cocalera (1980 - 1985) llegó una fase de depresión generalizada, ligada a la guerra emprendida por el gobierno contra el narcotráfico durante esos años (CNMH, 2012). La

coca absorbió la economía rural y urbana y generó una inversión de los flujos comerciales. Productos agrícolas de consumo y de mercado como el plátano dejaron de producirse localmente y, por ende, tenían que importarse y adquirirse con los ingresos de la coca.

Aunque no hay datos demográficos consolidados de Puerto Guzmán antes del censo de 2005, el crecimiento durante la década de 1980 se puede constatar a través de la densificación de los centros poblados. Este crecimiento se puede atribuir, en parte, al auge cocalero que trajo consigo una nueva oleada de colonos directa o indirectamente vinculados al negocio (Uribe & Guzmán, 2022). A finales de los 80s llegaron las FARC, determinante en la vida rural y urbana de Puerto Guzmán. Y, a diferencia de otras partes de la Amazonía y del Putumayo donde el control territorial fue disputado entre diferentes grupos (CNMH 2012), las FARC se convirtieron en un actor hegemónico en Puerto Guzmán por casi dos décadas. Su presencia se hizo sentir en todos los aspectos de la vida a través de la regulación y control de las relaciones sociales y familiares, la economía, la política y la movilidad (Cancimance, 2017; Uribe et al., 2021).

Respecto a la presencia estatal, se comenzó a materializar en 1992 y llevó al establecimiento de una institucionalidad local previamente inexistente. Durante la década de 1990 esta institucionalidad fue muy débil, en parte por su baja capacidad de gestión y administración de un municipio con un área tres veces mayor a la de ciudades como Bogotá y, en otra parte, por el dominio territorial de las FARC (Uribe & Guzmán, 2022). Las últimas dos décadas de la historia de Puerto Guzmán están definidas por tres momentos que estuvieron presentes en la gran mayoría de los municipios colombianos afectados por el conflicto armado: un primer momento de recrudecimiento del conflicto que coincide con la década del 2000, un segundo entre 2010 y 2016 que abarca el periodo de negociación entre el gobierno y las FARC y culmina con la firma de los Acuerdos de Paz con esta guerrilla, y un tercero desde esa fecha hasta el presente, caracterizado por una nueva fase de violencia tras la reconfiguración de viejos actores y la emergencia de nuevos (Uribe & Guzmán, 2022).

La década del 2000 está marcada por un intento por parte del estado de minar el poder de las FARC y ejercer soberanía territorial por la vía militar. El efecto de esta política fue una intensificación sin precedentes del conflicto que se expresó en masacres, desapariciones, asesinatos, ejecuciones extrajudiciales y desplazamientos forzados, entre otras formas de violencia. Con el incremento de las aspersiones con glifosato como método de erradicación de la coca (principal sustento de buena parte de la población rural) y la arremetida militar, hubo un desplazamiento de los habitantes rurales que vació veredas completas y dejó otras diezmadas. Según cifras del Observatorio de Programa Presidencial de Derechos

Humanos (2011), entre 2000 y 2010 se reportaron 19.469 personas expulsadas del municipio y 2.097 recibidas a causa de desplazamiento forzado. El impacto del desplazamiento en términos demográficos puede apreciarse si se tiene en cuenta que la población municipal estimada en el censo de 2005 fue de 22.679 habitantes; en otras palabras, el número de personas desplazadas y recibidas debido al conflicto durante esa década se acercó al estimado poblacional censal de dicho año (Uribe & Guzmán, 2022).

Posterior a la desmovilización de las FARC en 2016, algunos exmiembros y grupos criminales aprovecharon el vacío de poder y lucharon por el control de la producción de coca en la zona (La Silla Vacia, 2021). La presencia de grupos disidentes de las FARC en el Putumayo viene creciendo desde 2018 (Verdad Abierta, 2019). Desde finales de 2021, hubo un aumento repentino y masivo de la violencia entre los grupos armados y sus ataques contra agricultores, excombatientes y líderes sociales (ACAPS, 2022). El incremento de violencia fue el resultado de los combates entre el Comando de Frontera y el Frente Carolina Ramírez por la expansión territorial para controlar el narcotráfico (ACAPS, 2022)¹⁶. Los intentos del Frente Carolina Ramírez de expandirse a la zona y arrebatar el control al Comando de Frontera dieron como resultado enfrentamientos y ataques a la población civil (Defensoría del Pueblo, 2022). Cuatro personas fueron asesinadas en noviembre de 2021 y tres en febrero de 2022 (Radio Nacional, 2021; Conexión Putumayo, 2022).

En 2021 más de 2.300 personas fueron desplazadas en el departamento del Putumayo (en su mayoría como resultado de desplazamientos individuales y familiares que no se rastrean de manera integral), lo que es un aumento del 30% con respecto a 2020. Las principales causas de desplazamiento son el miedo al reclutamiento de niños, las amenazas y la intimidación (ACAPS, 2022). Entre noviembre de 2021 y marzo de 2022 se registró más de 493 personas desplazadas en Putumayo, tan solo en febrero 155 personas de Puerto Asís y 40 de Puerto Guzmán fueron desplazadas debido a amenazas directas de grupos armados (OSHA, 2022). Uno de los casos más devastadores en esta escalada de violencia fue la masacre de 18 personas en las veredas Las Delicias y Los Pinos, el 19 de noviembre del 2022, fruto de la confrontación entre estos dos grupos ilegales (Defensoría del Pueblo,

¹⁶ El análisis de riesgos de ACAPS pretende ayudar a los responsables de la toma de decisiones humanitarias a comprender los posibles cambios futuros en un contexto específico y su impacto humanitario. ACAPS es un proyecto no gubernamental sin fines de lucro que proporciona análisis humanitario internacional e independiente. Fundada en 2009, ACAPS proporciona seguimiento y análisis diarios de las situaciones en 150 países, para apoyar a los trabajadores de ayuda humanitaria (ACAPS, 2023).

2022). Esta masacre fue parte de los intentos del Frente Carolina Ramírez de recuperar el control de zonas perdidas ante su rival (Reynoso & Oquendo, 2022).

Tanto el Frente Carolina Ramírez como los Comandos de la Frontera surgieron en los últimos años a partir de disidencias de las FARC. El primero es el heredero de los miembros del frente 1 que nunca suscribieron los Acuerdos de Paz. El segundo es una alianza narcotraficante entre los grupos La Mafia y Sinaloa, sucesora de estructuras que pertenecían al frente 48 de las FARC, y es cercano a la Segunda Marquetalia de Iván Márquez. Ambos grupos sostienen que “luchan por los desposeídos”, no obstante, la violencia en las comunidades en las que se encuentran ambos grupos desmiente esta afirmación (Reynoso & Oquendo, 2022).

Estos grupos se denominan híbridos, porque incluyen a antiguos firmantes de los Acuerdos de la Paz de las FARC con narcotraficantes y residuos paramilitares y tiene la particularidad de que “no hacen parte de estructuras con ideologías claramente definidas”. Esto es de especial importancia, debido a que no es lo mismo negociar con un grupo con reivindicaciones políticas que con el crimen organizado. La ley de la paz total establece dos tipos de mecanismos: los acuerdos tradicionales con grupos que tienen un componente político, como el Ejército de Liberación Nacional (ELN), y el sometimiento a la justicia para las “estructuras armadas de crimen de alto impacto”. De momento, ninguno hace caso al pedido del gobierno colombiano de implementar un cese al fuego (Reynoso & Oquendo, 2022).

Teniendo en cuenta lo anterior, la actuación estatal frente al conflicto armado en el departamento del Putumayo ha sido (mayoritariamente) la militarización de los territorios con gran presencia de grupos al margen de la ley, y la erradicación forzada de los cultivos por aspersión aérea o erradicación manual. No obstante, algunas de estas políticas de Estado han tratado de incluir la inversión social para los territorios afectados. Al respecto, en el departamento del Putumayo se han intentado implementar acciones como pactos de desarrollo alternativos al cultivo de coca, los cuales tenían como objetivo financiar proyectos agrícolas de productos como el caucho, el plátano y la ganadería. La mayoría de estos proyectos surgen del financiamiento de la cooperación internacional como lo es la “Estrategia de acciones en tiempos de Paz” pactada por Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) (Rodríguez, 2021).

Muchas de las estrategias de Cooperación Internacional ejecutadas hasta el 2014 no tuvieron éxito debido a que, los recursos, quedaron en ámbitos burocráticos propios de las organizaciones no gubernamentales (ONG) y fundaciones y no llegaron las inversiones a las comunidades solicitantes (Rodríguez, 2021). El Acuerdo de Paz firmado entre el

Gobierno Nacional y las FARC, en el 2016, presentó una perspectiva de desarrollo para el departamento a partir de puntos como la Reforma Rural Integral y la inversión social en los municipios de mayor afectación, la formalización de las tierras y su restitución, la sustitución voluntaria de cultivos ilícitos y el desarrollo alternativo. Pero la falta de implementación del Acuerdo dio paso a una importante incidencia de los cultivos de uso ilícito y la economía del narcotráfico en las condiciones de inseguridad del departamento, la cual se ha incrementado en los últimos años.

A modo de cierre de este capítulo, se señala que la importancia de tener en cuenta el contexto del área de estudio, es que, debido a sus condiciones de lejanía, que limita el llevar los productos a los mercados; su clima de altas temperaturas y precipitaciones, que hacen poco productivas las actividades agropecuarias y el abandono de entidades estatales en aspectos de salubridad, transporte y educación; las comunidades dependen de la explotación de recursos naturales para sobrevivir.

Relacionamiento del contexto del área de estudio con el análisis del cambio de coberturas del suelo y la identificación de causas de la deforestación (Ilustración 42)

Al combinar el contexto específico del área de estudio con el análisis del cambio de coberturas del suelo, se puede desarrollar una percepción más completa y contextualizada de cómo está evolucionando las coberturas del suelo. La información recopilada sobre las transformaciones en la cobertura del suelo, junto con el conocimiento del contexto local, permite obtener una imagen precisa de cómo los cambios afectan directamente a la región y a sus comunidades.

Ilustración 42: Relacionamiento del contexto del área de estudio



Al conectar el contexto del área de estudio con la identificación de las causas y agentes responsables de la deforestación, se pueden identificar las causas indirectas que contribuyen al proceso de deforestación. Estas causas pueden estar relacionadas con factores socioeconómicos, políticos, culturales y de desarrollo que, aunque no están directamente vinculados con la actividad de deforestación en sí, pueden crear las condiciones propicias para que ocurra.

Al cruzar el análisis del cambio de coberturas del suelo con la identificación de las causas y agentes responsables de la deforestación, se pueden determinar las causas directas que impulsan los cambios observados en la cobertura del suelo. Estas causas directas pueden incluir actividades como la tala de árboles para la obtención de madera, la expansión de la agricultura y la ganadería, la minería y otras actividades humanas que tienen un impacto directo en la transformación del paisaje.

En conjunto, estos relacionamientos permiten una comprensión holística de la deforestación en el área de estudio. La percepción contextualizada proporciona una visión completa del cambio de coberturas del suelo y sus implicaciones para la región y sus habitantes. La identificación de causas indirectas y directas ayuda a comprender los factores subyacentes y las acciones humanas específicas que están contribuyendo a la deforestación. Juntos, estos elementos proporcionan una base sólida de las motivaciones de la deforestación en el área de estudio que permiten un mayor entendimiento y fortalecimiento de las estrategias de conservación y políticas efectivas para abordar la pérdida de bosques y su degradación.



CAPITULO 4. METODOLOGÍA

*Desplazamiento área de estudio para hacer las encuestas
Autor: Eraso, 2022*

CAPITULO 4. METODOLOGÍA

Las altas tasas de deforestación en la región amazónica de Colombia, junto con su extensa superficie, la limitada presencia institucional, la actividad de grupos armados al margen de la ley, prácticas ilícitas como cultivos ilegales y minería no regulada, y los niveles de pobreza considerables, plantean un desafío significativo en cuanto a la supervisión, control y prevención de esta problemática ambiental.

La presente investigación se propone abordar este desafío mediante la implementación de dos enfoques principales, que se detallan en la Ilustración 43. En primer lugar, se llevará a cabo un análisis de los cambios en las cubiertas del suelo. Esto se logrará generando cartografía de coberturas del suelo con mayor resolución, lo cual permitirá identificar de forma oportuna los cambios mediante la utilización de tecnologías avanzadas de teledetección para monitorear el terreno.

El segundo enfoque se centrará en caracterizar las causas y agentes de la deforestación. Para lograr esto, aplicará una metodología ya existente para caracterizar las causas y agentes de la deforestación, y se evaluará su aplicabilidad en el área de estudio. También se recopilarán las percepciones de la población sobre la deforestación mediante entrevistas semiestructuradas.

La Ilustración 44 resume el proceso metodológico total el cual tiene dos fases: La primera fase describe el análisis cartográfico a partir de la generación de cartografía del área de estudio a escala 1:25.000 para los años 2010 y 2020 mediante la aplicación de metodologías de clasificación supervisada y el posterior análisis de cambio de coberturas y análisis de fragmentación; y la segunda fase es la identificación de las causas y los agentes de la deforestación a partir de la revisión de fuentes de información secundaria, y el levantamiento de información primaria, mediante entrevistas y encuestas.

Las encuestas son la aplicación de la metodología establecida en Colombia para caracterizar las causas y agentes de la deforestación (González et al., 2018a), se empleó esta metodología para determinar su aplicabilidad en el área de estudio. Las entrevistas se realizaron para tener más claridad de la complejidad del trasfondo, para identificar las motivaciones de los diferentes agentes para realizar el cambio de coberturas, y, yendo más allá, conocer la percepción que tienen sobre la disminución del bosque.

La revisión conjunta de la percepción y las causas y agentes es para facilitar la identificación de los impulsores. Y una vez identificados y evaluando el incremento de la extensión del cambio de cobertura, determinar por qué las diferentes estrategias para contener la deforestación no han funcionado. Ambas fases se complementan, porque, permiten determinar el comportamiento de la deforestación, entendiendo que la primera fase permite mostrar las consecuencias y la segunda las causas.

Ilustración 43: Esquema de alternativas de solución

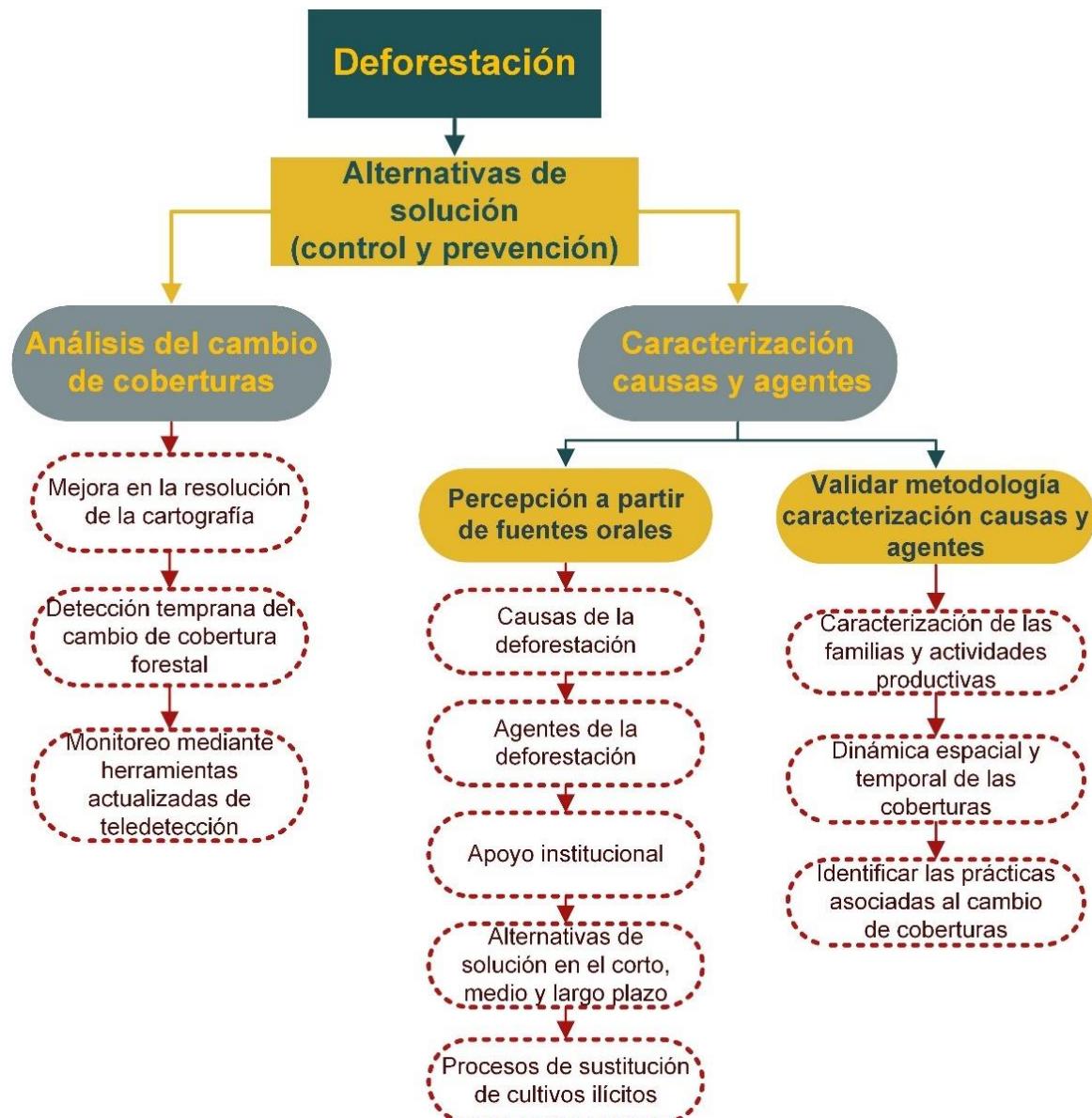
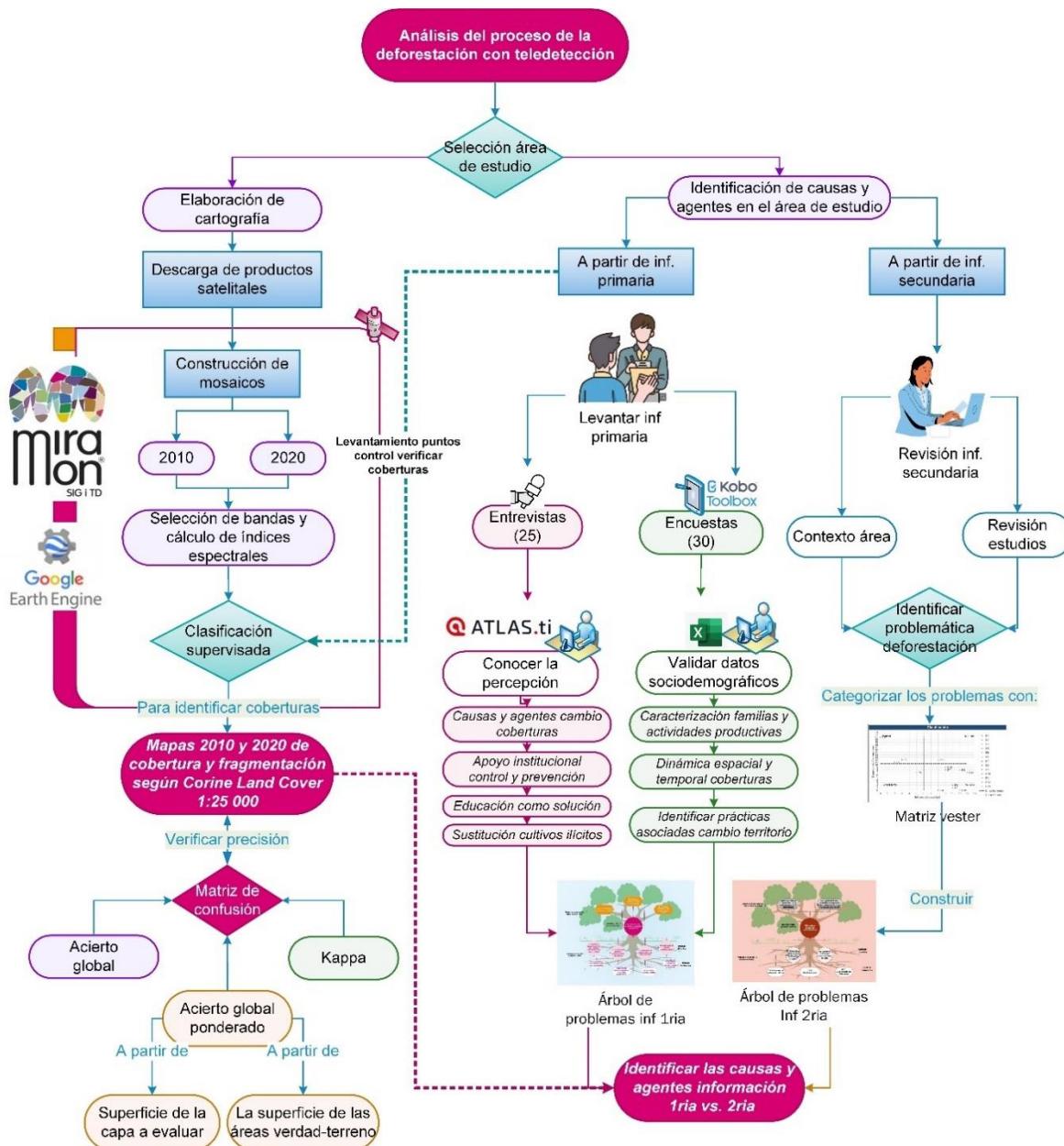


Ilustración 44: Flujo metodológico general



A continuación, se explicará la metodología de cada una de las dos fases.

4.1 ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE COBERTURA DEL SUELO

Para la elaboración de la cartografía del área de estudio a escala 1:25.000 para los años 2010 y 2020, en un inicio se utilizó Google Earth Engine (GEE) debido a que permite acceder de forma gratuita a las grandes bases de datos de imágenes satelitales y ofrece una gran capacidad de procesamiento para el análisis de datos masivos de observación terrestre (Moore & Hansen, 2011; Kumar & Mutanga, 2018; Campos et al., 2018; Crespi et

al., 2020; Gomes et al., 2020; Losada, 2020; Mugiraneza et al., 2020, citados en Eraso et al., 2022). El tipo de clasificación de imágenes satelitales que se usó en la presente investigación es la técnica supervisada, debido a que se considera dentro de los más precisos “sin embargo, depende de la capacidad del algoritmo utilizado para discriminar las categorías” (Vargas & Campos, 2018, p. 59). El algoritmo de clasificación supervisada que se usó en GEE fue Random Forest. No obstante, a medida que se profundizó en la investigación se observó que el algoritmo de clasificación supervisada k-NN daba buenos resultados para la clasificación de coberturas del suelo, por lo que se comenzó a utilizar el software MiraMon (MiraMon, 2023). El proceso de elaboración de la cartografía de cobertura del suelo involucró tres etapas fundamentales para cada año de estudio tanto en GEE como en MiraMon. La primera consiste en la composición del conjunto de datos, la segunda en la clasificación supervisada y la tercera etapa en la validación de la clasificación.

Respecto a la muestra utilizada para entrenar y validar las clasificaciones, es importante destacar que, debido a la presencia de grupos armados al margen de la ley en el área de estudio, las precarias vías de acceso y la alta violencia, no fue posible realizar recorridos en campo para cubrir la totalidad del área de estudio. Aunque se gestionaron permisos de acceso a zonas a través de los líderes de la comunidad, no se pudo acceder a todos los lugares y, por lo tanto, se utilizaron otros métodos para obtener datos de referencia (información secundaria de estudios de coberturas del suelo y fotointerpretación de imágenes de alta resolución cercanas a la fecha de interés). La muestra para entrenar y validar los respectivos clasificadores fue la misma para cada año de estudio en GEE y MiraMon.

Cabe mencionar que la generación de coberturas se inició con el año 2020 debido a que se contaba con más cantidad de sensores satelitales de observación de la tierra, lo que proporciona mayor riqueza de datos en términos de resolución temporal, espacial y espectral.

4.1.1 Generación de coberturas del suelo a partir de una clasificación supervisada utilizando el algoritmo Random Forest

El objetivo al usar GEE era generar una cartografía de coberturas del área de estudio a escala 1:25.000 para los años 2010 y 2020. La Ilustración 45 muestra el flujo de trabajo para cada año de estudio: (1) composición del conjunto de datos mediante la selección y descarga de las imágenes satelitales, (2) generación de las coberturas del suelo según la

leyenda Corine Land Cover adaptada para Colombia (Anexo 17) mediante clasificación supervisada usando el algoritmo Random Forest y (3) validación de la clasificación supervisada.

Para generar la información espacial de cobertura del suelo para el año 2020, se realizó una integración de imágenes Landsat-8, Sentinel-1, Sentinel-2 y PlanetScope para poder utilizar bandas específicas de cada sensor y enriquecer los datos del área de estudio. Para el año 2010 se utilizó imágenes del programa RapidEye¹⁷ con fecha 2010-07-05. Cabe destacar que se procuró obtener imágenes de Landsat-5 y Landsat-7, pero ninguna era óptima por demasiada nubosidad debido a que es una zona de altas precipitaciones (Landsat-5) o por él bandeo (Landsat-7).

La popularidad Random Forest (RF) se atribuye a que incluye árboles de decisiones múltiples, agregación bootstrap (empaquetado) y validación cruzada interna, lo que condujo a: buen manejo de los valores atípicos y los conjuntos de datos más ruidosos, buen rendimiento con conjuntos de datos de alta dimensión y de múltiples fuentes, mayor precisión que otros clasificadores populares y menos sensibilidad al sobre ajuste (Thanh et al., 2020). RF construye cientos de modelos de árboles de decisión utilizando subconjuntos aleatorios de datos objetivo y variables explicativas para construir cada árbol. Estos árboles de clasificación múltiple luego se votan por pluralidad para determinar la clasificación correcta (Naidoo et al., 2012).

La razón de escoger el algoritmo RF para usar en la presente investigación se debe a que

“Un metaanálisis de 349 artículos revisados por pares de GEE en los últimos 10 años muestra que el RF es el algoritmo de clasificación más utilizado para imágenes satelitales” (Tamiminia et al., 2020, p. 4).

A pesar de no tener diferencias estacionales marcadas en el área de estudio, se procuró generar la cobertura a partir de imágenes satelitales de fechas aproximadas en los años de interés (2010 y 2020) y, de esta manera minimizar diferencias relacionadas con la fenología vegetal, ángulo del sol, condiciones atmosféricas y humedad del suelo (Serra et al., 2010).

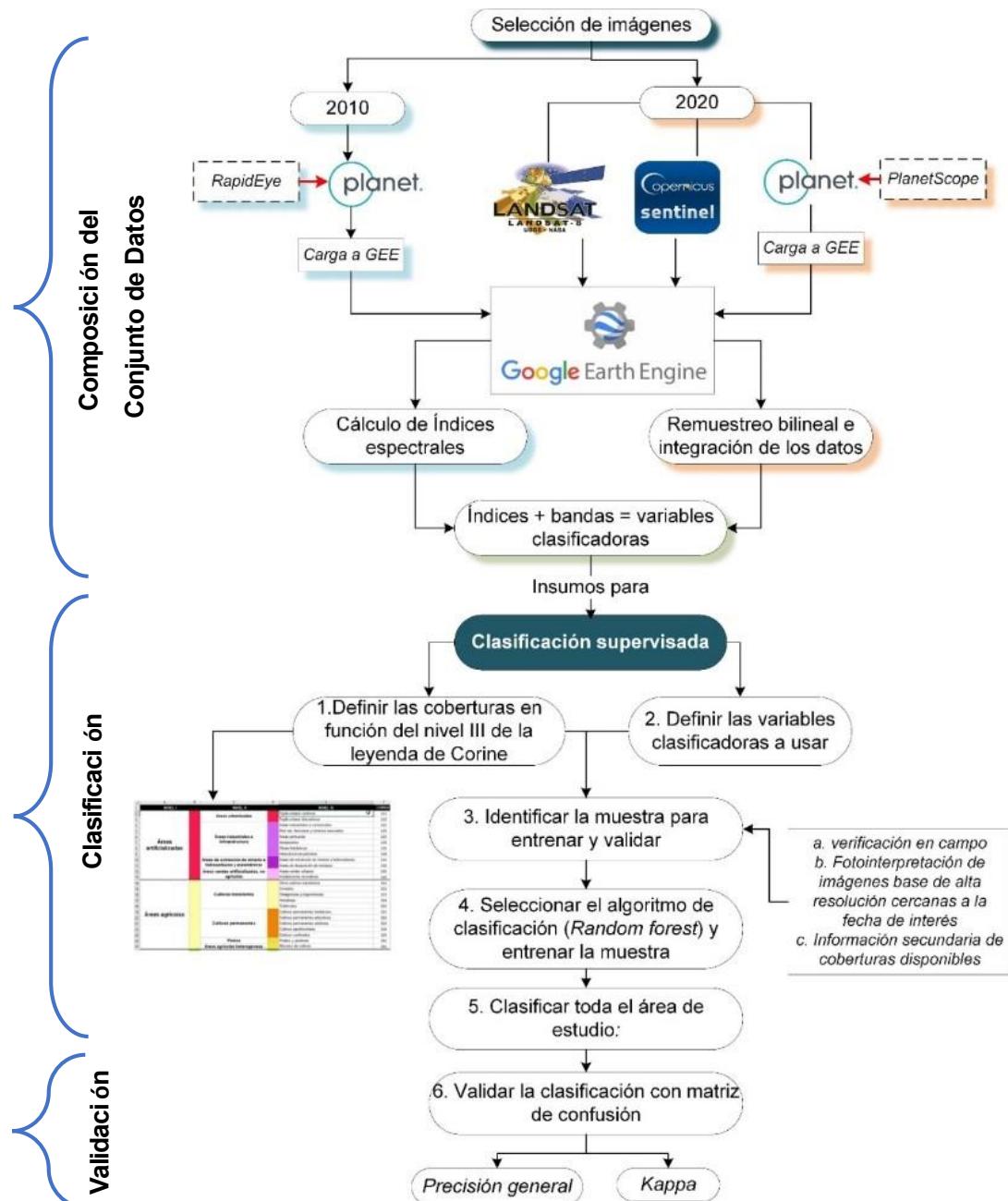
Trabajar con diferentes sensores para hacer comparaciones no es ideal debido a que el número de bandas, longitudes de onda y la sensibilidad del sensor es diferente. Además, se complica la superposición por el diferente tamaño de píxel y el origen de cuadrícula.

¹⁷ El acceso a estas imágenes fue a través de la licencia de Education and Research Program (Planet Labs, 2022b)

Pero a menudo es inevitable, especialmente en el análisis de series de tiempo, por los siguientes factores (Serra et al., 2003):

- Uno de los sensores puede no haber existido en fechas anteriores.
- El sensor dejó de recopilar información.
- No hay otro dato disponible.

Ilustración 45: Esquema secuencial para la obtención de la cobertura según Corine Land Cover



A continuación se explica cada una de las tres etapa iniciando con el año 2020.

(i) Composición del conjunto de datos del año 2020

Selección y combinación de imágenes satelitales PlanetScope, Sentinel-2, Landsat-8 y Sentinel-1 para el año 2020.

En lo referente a las imágenes de PlanetScope no están incluidas dentro de la base de datos de GEE, por lo que fue necesario descargar estas imágenes a través de la plataforma PlanetExplorer (Planet Labs, 2022a). Para usar la mencionada plataforma es necesario contar con una licencia y para nuestro caso se usó la licencia Education and Research Program (Planet Labs, 2022b). Una vez autenticado el usuario dentro de la plataforma, se puede cargar el polígono del área del estudio e indicar los parámetros de búsqueda de las imágenes que se muestran en la Ilustración 46 (fecha y ubicación). Los resultados de dicha búsqueda se pueden observar en la Ilustración 47.

Ilustración 46: Parámetros de búsqueda de ubicación, fecha y sensor de las imágenes en Planet Explorer

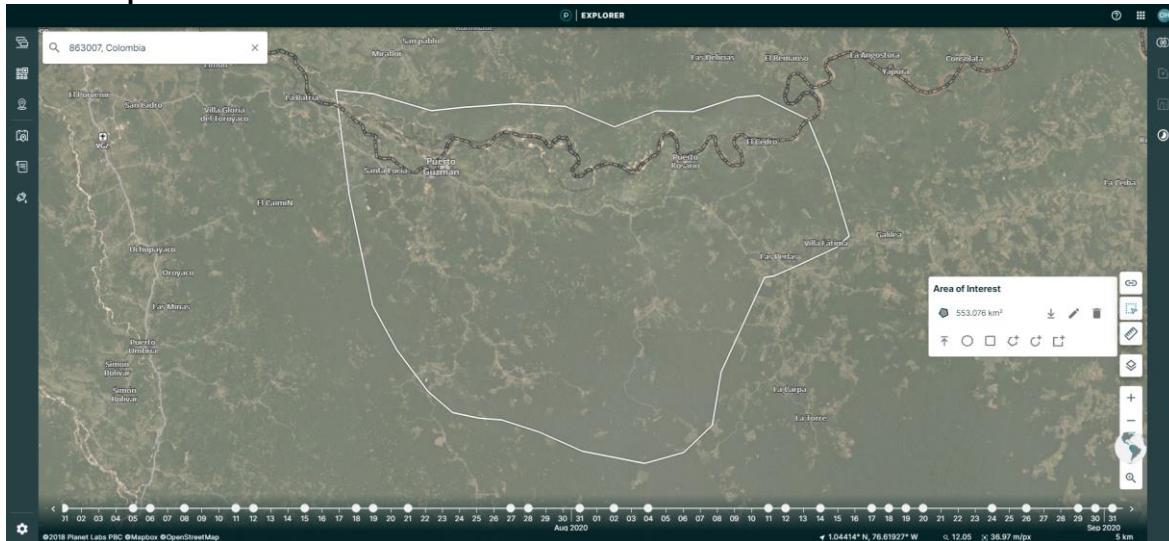
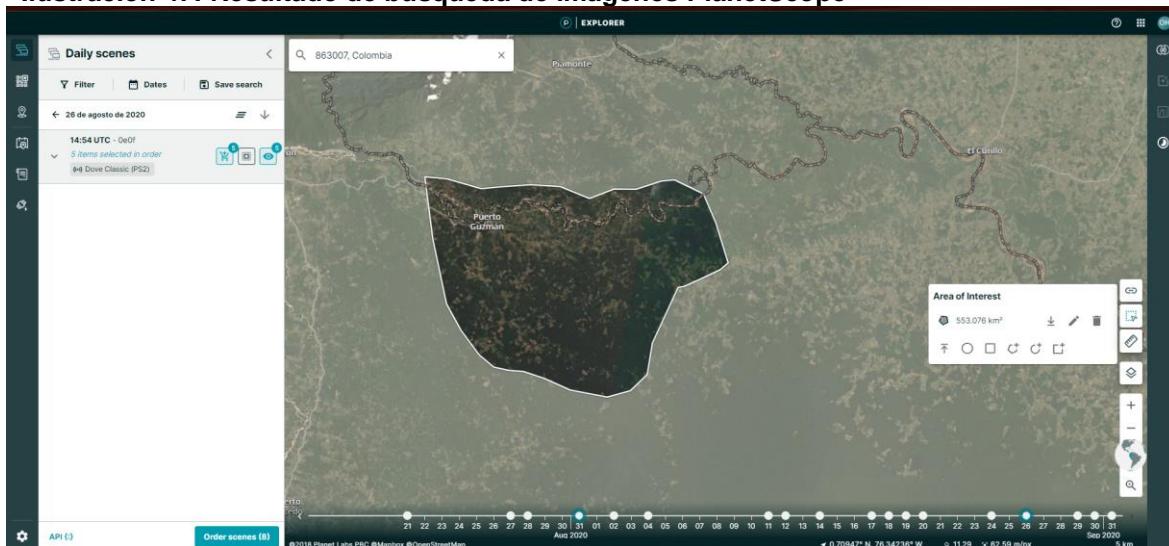


Ilustración 47: Resultado de búsqueda de imágenes PlanetScope



Concretamente, la imagen que se seleccionó para dicha investigación fue del 26 de agosto de 2020 (Ilustración 48).

Ilustración 48: Selección de las imágenes PlanetScope a descargar

The screenshot shows the 'Order Imagery' interface. At the top, there are four steps: 'Delivery options', 'Name order' (which is active), 'Select assets', and 'Tools & review'. The 'Name order' step has a text input field containing 'PlanetScope_2020_08_26'. Below the input field is a character count indicator '22/200'. On the right, there is a 'Continue' button. To the right of the main interface is a 'Order Summary' box. It displays the order name 'PlanetScope_2020_08_26', the number of items '1', and a detailed list for a 'PlanetScope Scene' asset. The asset includes '8 items', 'Surface reflectance - 4 band', and download options for 'GeoTIFF', 'UDM2', and 'Clipped'.

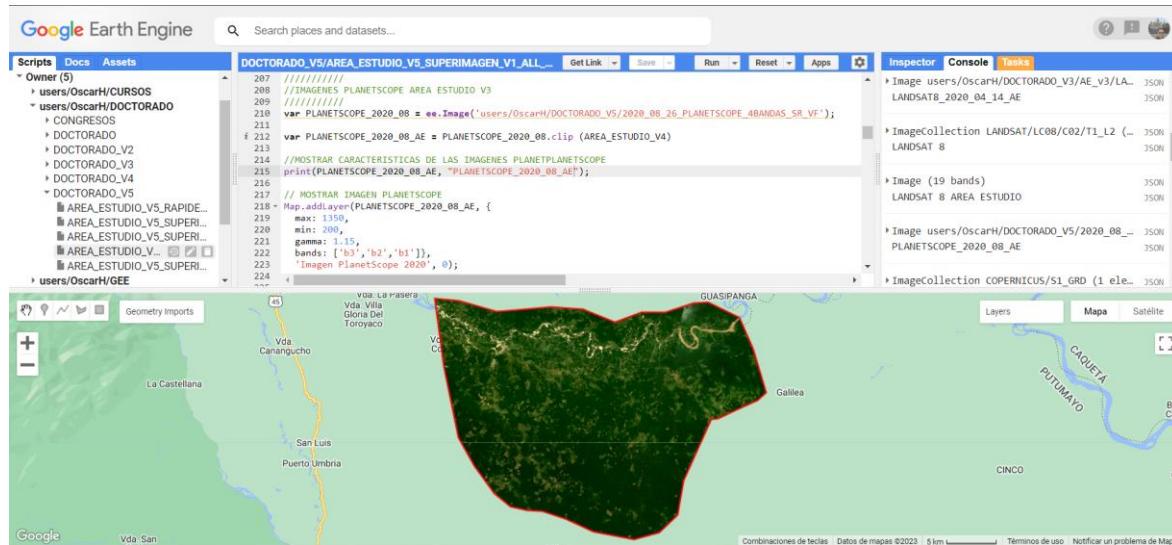
Al momento de descargar, PlanetExplorer ofrece opciones de preprocesamiento de las imágenes, los cuales se pueden ver en la Ilustración 49 y que se explicaron en el apartado (2.4.3 Sensores usados - PlanetScope). En la presente investigación se seleccionó el cuarto nivel que corresponde Surface Reflectance (analytic_sr), por ser el de mayor nivel de corrección.

Ilustración 49: Niveles de preprocesamiento

The screenshot shows the 'Order Imagery' interface at the 'Tools & review' step. It displays a section titled 'RECTIFIED ASSETS' with two options: 'Visual' (optimized for visual analysis - RGB only) and 'Surface reflectance - 4 band' (corrected for surface reflectance: recommended for most analytic applications - includes RGB NIR). Both options have a 'UDM2' download icon. Below this section is a '+ Show More' link. To the right, there is a 'Order Summary' box. It displays the order name 'PlanetScope_2020_08_26', the number of items '1', and a detailed list for a 'PlanetScope Scene' asset. The asset includes '8 items', 'Surface reflectance - 4 band', and download options for 'GeoTIFF', 'UDM2', and 'Clipped'.

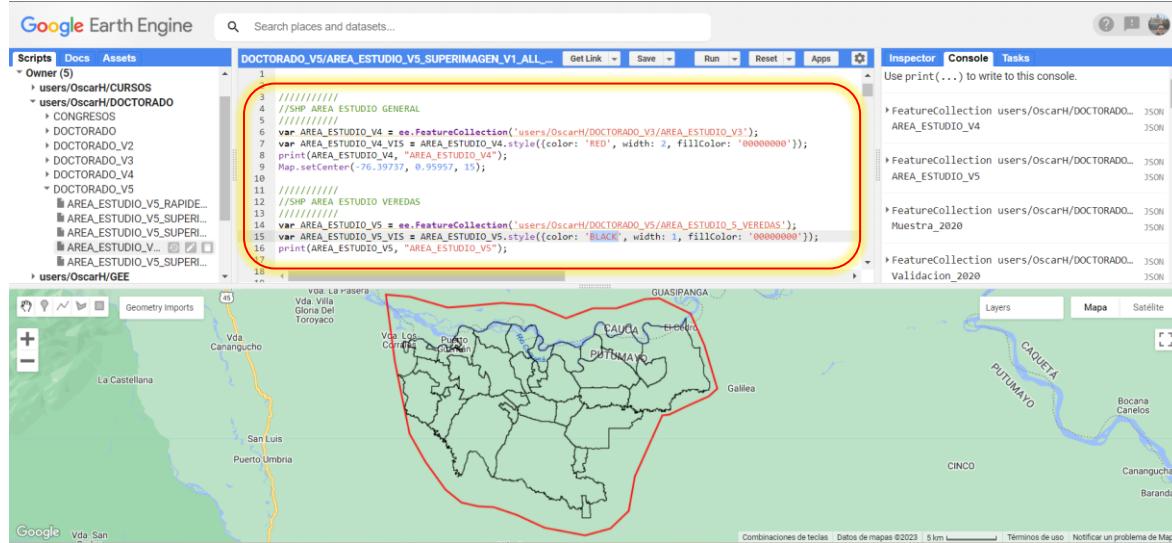
Una vez se contó con la imagen ortorrectificada, corregida radiométricamente y recortada en función del polígono del área de estudio y en formato Geo TIFF se procedió a su descarga y posteriormente fue subida a la plataforma de GEE (Ilustración 50).

Ilustración 50: Carga de la imagen PlanetScope a GEE



Las imágenes de los sensores Sentinel-2, Landsat-8 y Sentinel-1 están disponibles en los datasets de GEE y solo fue necesario realizar la búsqueda de las imágenes que cubren el área de estudio con las fechas de interés directamente en GEE. El proceso consistió en cargar la delimitación vectorial del área de estudio a GEE y crear una variable con esta información (Ilustración 51).

Ilustración 51: Creación de la variable del área de estudio dentro de GEE



Ya con el precedente de la variable del área de estudio, se pasó a “llamar” la colección de Sentinel-2 con el nivel de preprocesamiento Level-2A. El dataset de las imágenes Level-2A, se filtró con el parámetro de fecha (26-08-2020) (Ilustración 52), encontrando imágenes con los siguientes ID:

- COPERNICUS/S2_SR/20200826T152641_20200826T152644_T18NUF
 - COPERNICUS/S2_SR/20200826T152641_20200826T152644_T18NUG

Ilustración 52: Búsqueda de las imágenes dentro de la colección Sentinel-2 Level-2A

The screenshot shows the Google Earth Engine interface. On the left, the 'Scripts' panel lists several scripts under 'users/Oscarh/GEE'. The 'AREA_ESTUDIO_V5_SUPERIMAGEN_V1_ALL_V3_All_Valid' script is open in the center, displaying code for filtering a collection of images from Sentinel-2. A red box highlights the code from line 71 to line 78. The right side features the 'Inspector' and 'Console' panels, and a map view showing a river system with various locations labeled.

```
//!/bin/bash
# /SENTINEL 2
//!/bin/bash

var imgs_sentinel2 = ee.ImageCollection ('COPERNICUS/S2_SR')
  .filterDate ('2020-08-25', '2020-08-27') //Fechas disponibles: 2015-07-01 - hoy
  .filterBounds (AREA_ESTUDIO_V4)
  .filterMetadata ('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 100);
print(imgs_sentinel2, 'SENTINEL 2')
```

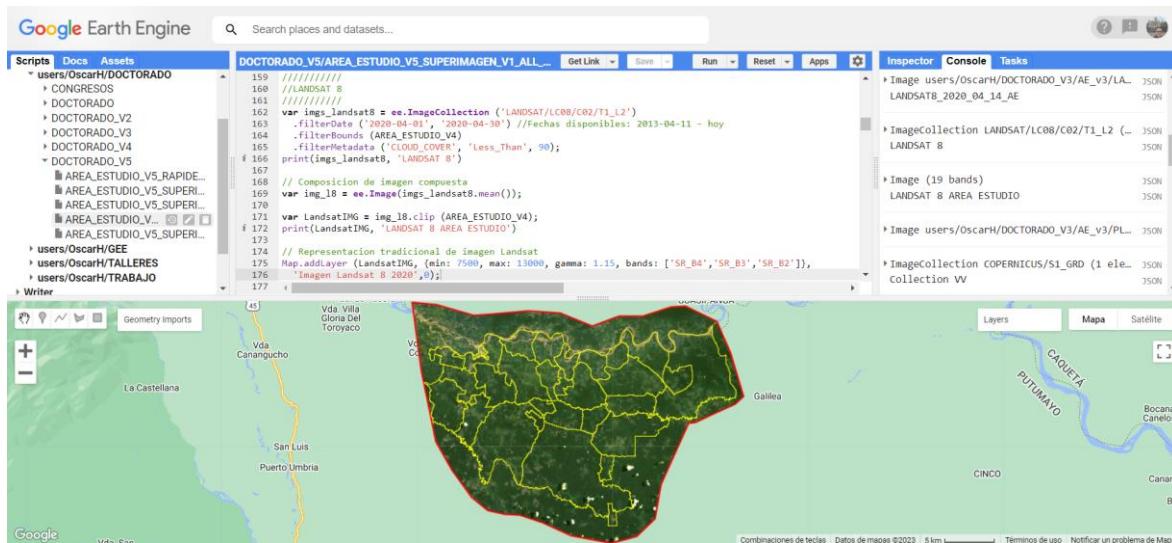
Finalmente, se realizó un mosaico de las dos imágenes Sentinel-2 que pasaron los filtros de ubicación y fecha(Ilustración 53).

Ilustración 53: Resultado del mosaico de imágenes Sentinel-2

Para las imágenes Landsat-8 se buscó los mismos parámetros usados en Sentinel-2, pero no se encontró una imagen del 26-08-2020 con baja nubosidad y en condiciones óptimas para el área de estudio. Por esto se realizó la búsqueda de la imagen más cercana a esta fecha y la que tenía mejores características fue una del 14 de abril de 2020. En este caso se llamó a la colección USGS Landsat-8 Level 2, Collection 2, Tier 1, con nivel de preprocesamiento SR y se realizó la búsqueda de imágenes tomadas el día 14-04-2020 para el área de estudio (Ilustración 54), encontrando una imagen con el siguiente ID, cuyo Path era de 9 y el Row de 59:

- LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_009059_20200414

Ilustración 54: Búsqueda de la imagen dentro de la colección USGS Landsat-8 Level 2, Collection 2, Tier 1

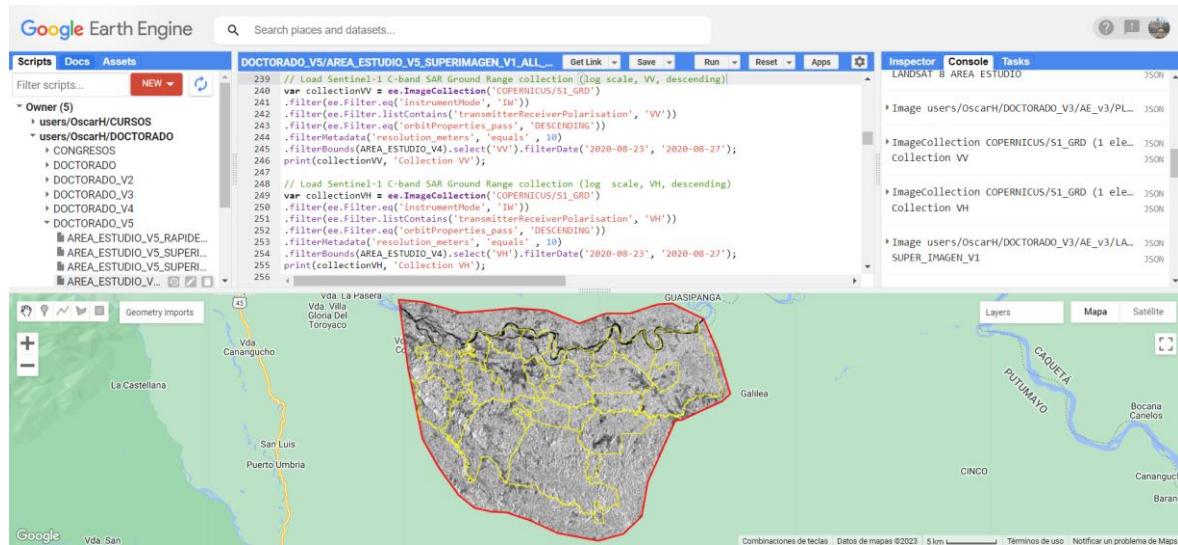


Para las imágenes de Sentinel-1 SAR GRD se llamó a esta colección mediante la aplicación de filtros de ubicación y fecha encontrando una imagen con el siguiente ID:

- COPERNICUS/S1_GRD/S1B_IW_GRDH_1SDV_20200826T105132_20200826T105157_023093_02BD8E_47C3

Posteriormente, se realizó la polarización VV y VH de la imagen seleccionada (Ilustración 55).

Ilustración 55: Búsqueda de la imagen dentro de la colección Sentinel-1 SAR GRD: C-band Synthetic Aperture Radar Ground Range Detected, log scaling



Generación de índices espectrales

Los índices espectrales se derivan de combinaciones específicas de bandas espectrales de satélites y permiten la modelización e inferencia de diversos procesos superficiales. Estos índices tienen diversas aplicaciones en la agricultura, los recursos hídricos, el desarrollo urbano, la ecología forestal, la geología, las ciencias del suelo, la vegetación, entre otras (Prasad et al., 2022).

Por este motivo se calcularon los siguientes índices espectrales, para usarlos como variables de entrada (Tabla 34).

Es importante resaltar que el resultado de cada índice espectral se multiplicó por una constante para que los valores fueran equivalentes a los de las bandas espectrales, ejemplo: el resultado de los índices espectrales de diferencia normalizada arroja valores desde -1 hasta 1, estos valores se multiplicaron * 5.000 debido a que las bandas espectrales tienen valores cercanos a este número.

Tabla 34: Índices espectrales¹⁸

ÍNDICES ESPECTRALES	CANTIDAD DE VARIABLES DE CLASIFICACIÓN	ÍNDICES ESPECTRALES	CANTIDAD DE VARIABLES DE CLASIFICACIÓN
1. NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) NDVI (Landsat-8) NDVI (Sentinel-2) NDVI (PlanetScope)	3	8. NORMALIZED DIFFERENCE WATER INDEX (NDWI) NDWI (Landsat-8) NDWI (Sentinel-2) NDWI (PlanetScope)	3
2. GREEN NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (GNDVI) GNDVI (Landsat-8) GNDVI (Sentinel-2) GNDVI (PlanetScope)	3	9. NORMALIZED DIFFERENCE SNOW INDEX (NDSI) NDSI (Landsat-8) NDSI (Sentinel-2)	2
3. NORMALIZED DIFFERENCE MOISTURE INDEX (NDMI) NDMI (Landsat-8) NDMI (Sentinel-2)	2	10. NORMALIZED DIFFERENCE GLACIER INDEX (NDGI) NDGI (Landsat-8) NDGI (Sentinel-2) NDGI (PlanetScope)	3
4. MOISTURE STRESS INDEX (MSI) MSI (Landsat-8) MSI (Sentinel-2)	2	11. STRUCTURE INSENSITIVE PIGMENT INDEX (SIPI) SIPI (Landsat-8) SIPI (Sentinel-2) SIPI (PlanetScope)	3
5. GREEN CHLOROPHYLL INDEX (GCI) GCI (Landsat-8) GCI (Sentinel-2) GCI (PlanetScope)	3	12. RED GREEN RATIO (RGR) RGR (Landsat-8) RGR (Sentinel-2) RGR (PlanetScope)	3
6. NORMALIZED BURNED RATIO INDEX (NBRI) NBRI (Landsat-8) NBRI (Sentinel-2)	2	13. NORMALIZED DIFFERENCE BUILT-UP INDEX (NDBI) NDBI (Landsat-8) NDBI (Sentinel-2)	2
7. BARE SOIL INDEX (BSI) BSI (Landsat-8) BSI (Sentinel-2)	2		
TOTAL, VARIABLES DE CLASIFICACIÓN			33

Para generar los índices espectrales en GEE, se asignó como variable cada banda de los sensores satelitales usados y se procedió a aplicar la fórmula establecida para cada índicepectral (Ilustración 56).

¹⁸ **Nota de la Tabla:** La cantidad de variables de clasificación de cada índice espectral correspondía a 3 cuando el índice espectral se podía calcular en los 3 sensores y correspondía a 2 cuando solo se podía calcular en los sensores Sentinel-2, Landsat-8 y no se podía calcular en el sensor PlanetScope porque este no cuenta con la banda SWIR

Ilustración 56: Generación de índices espectrales en GEE para el año 2020

The screenshot shows the Google Earth Engine (GEE) web interface. The top navigation bar includes 'Google Earth Engine', a search bar ('Search places and datasets...'), and various tool buttons ('Get Link', 'Save', 'Run', 'Reset', 'Apps'). Below the navigation is a sidebar with 'Scripts' (selected), 'Docs', and 'Assets'. The 'Owner' section lists 'User/OscarH/CURSOS' and 'User/OscarH/DOCTORADO'. The main workspace contains a script titled 'AREA_ESTUDIO_V5_SUPERIMAGEN_V1_ALL_V2*'. The script code is as follows:

```

311 // INDICES ESPECTRALES AREA ESTUDIO
312 ///////////////
313
314 // 1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) 3
315 // Índice de vegetación de diferencia normalizada
316
317 // NDVI (Landsat 8) = (B5 - B4) / (B5 + B4)
318 var NDVI_L = SUPER_IMAGEN_V1.normalizedDifference(['B5L_INFRARROJO_CERCANO_NIR', 'B4L_ROJO']).multiply(5000);
319
320 // NDVI (Sentinel 2) = (B8 - B4) / (B8 + B4)
321 var NDVI_S = SUPER_IMAGEN_V1.normalizedDifference(['B8S_INFRARROJO_CERCANO_NIR_1', 'B4S_ROJO']).rename('NDVI_S').multiply(5000);
322 //Map.addLayer(ndv12, {}, "NDVI");
323
324 // NDVI (PlanetScope) = (B4 - B3) / (B4 + B3)
325 var NDVI_P = SUPER_IMAGEN_V1.normalizedDifference(['B4P_INFRARROJO_CERCANO_NIR', 'B3P_ROJO']).rename('NDVI_P').multiply(5000);
326
327
328 // 2. Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) 3
329 // Índice de vegetación de diferencia normalizada verde
330
331 // GNDVI (Landsat 8) = (B05 - B03) / (B05 + B03)
332 var GNDVI_L = SUPER_IMAGEN_V1.normalizedDifference(['B5L_INFRARROJO_CERCANO_NIR', 'B3L_VERDE']).rename('GNDVI_L').multiply(5000);
333
334 // GNDVI (Sentinel 2) = (B08 - B03) / (B08 + B03)
335 var GNDVI_S = SUPER_IMAGEN_V1.normalizedDifference(['B8S_INFRARROJO_CERCANO_NIR_1', 'B3S_VERDE']).rename('GNDVI_S').multiply(5000);
336
337 // GNDVI (PlanetScope) = (B4 - B2) / (B4 + B2)
338 var GNDVI_P = SUPER_IMAGEN_V1.normalizedDifference(['B4P_INFRARROJO_CERCANO_NIR', 'B2P_VERDE']).rename('GNDVI_P').multiply(5000);
339
340
341

```

Below the script is a map of the Puerto Guzmán area in Putumayo, Colombia, showing rivers like Río Putumayo, Río Aguarico, and Río Cauca, and towns like Túquerres, Mocoa, Villagarcía, Puerto Guzmán, Galimeta, Valparaíso, Curillo, Vda. Nutria II, Solita, AGUANEGRAS, Vda. El Puma Santa Fe Del Caguán, and Cumbal. The map includes a legend for 'Geometry Imports' and a scale bar.

Combinación de las variables de clasificación para el año 2020

Para combinar las imágenes de los diferentes satélites dentro de GEE, era necesario que las imágenes de los sensores escogidos tuvieran el mismo tamaño de píxel y mismo origen de cuadrícula. Para unificar las diferentes resoluciones espaciales de las imágenes (PlanetScope 3 m, Sentinel-1 y Sentinel-2 – 10 m y 20 m y Landsat-8 – 30 m) estas fueron sometidas a un proceso de remuestreo por interpolación bilineal.

Seguidamente, se definieron como variables de clasificación las bandas espectrales de los sensores pasivos y los datos polarizados VV y VH del sensor activo (Tabla 35), esto hace un total de 22 variables de clasificación. El sistema de coordenadas de referencia con el que se trabajó en GEE fue WGS84 con EPSG 4326.

También se utilizaron como variables de clasificación los 13 índices espectrales derivados de las imágenes de los sensores pasivos (Tabla 34) obteniendo 33 variables de clasificación adicionales, que sumadas a las 22 variables anteriores nos da producto con un total de 55 variables de clasificación. La integración de todas estas variables clasificadoras se realizó mediante función de GEE ee.Image.cat (var_args), que combina las imágenes dadas en una sola imagen que contiene todas las bandas (Google Earth Engine, 2022).

Tabla 35: Variables de clasificación parte 1

CANTIDAD DE VARIABLES DE CLASIFICACIÓN	
BANDAS ESPECTRALES LANDSAT-8 B2L_AZUL B3L_VERDE B4L_ROJO B5L_INFRARROJO_CERCANO_NIR B6L_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_1 B7L_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_2	 6
BANDAS ESPECTRALES SENTINEL-2 B2S_AZUL B3S_VERDE B4S_ROJO B5S_BORDE_ROJO_1 B6S_BORDE_ROJO_2 B7S_BORDE_ROJO_3 B8S_INFRARROJO_CERCANO_NIR_1 B8AS_INFRARROJO_CERCANO_NIR_2 B11S_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_1 B12S_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_2	 10
SENTINEL-1 Polarización VV Polarización VH	2
BANDAS ESPECTRALES PLANETSCOPE B1P_AZUL B2P_VERDE B3P_ROJO B4P_INFRARROJO_CERCANO_NIR	 4
TOTAL, VARIABLES DE CLASIFICACIÓN	22

Siguiendo el proceso paso a paso, utilizando las 55 variables de clasificación como punto de partida, se procedió a crear siete subconjuntos de variables de entrada con el fin de determinar cuál combinación resultaba óptima.

A continuación, se proporciona una descripción detallada de cada uno de estos siete subconjuntos de variables de entrada:

- Subconjunto 1: Se utilizaron las 55 variables de entrada es decir el producto completo que se acaba de explicar (Ilustración 57 y Anexo 4).
- Subconjunto 2: No se utilizaron las bandas ni los índices espectrales de Landsat-8, pero sí la información de las bandas e índices espectrales los demás sensores (Sentinel-2, PlanetScope, Sentinel-1) dando un total de 36 variables de entrada (Ilustración 58 y Anexo 5).

Ilustración 57: Lista de bandas e índices del subconjunto 1 de las variables de entrada del clasificador Random Forest para el año 2020

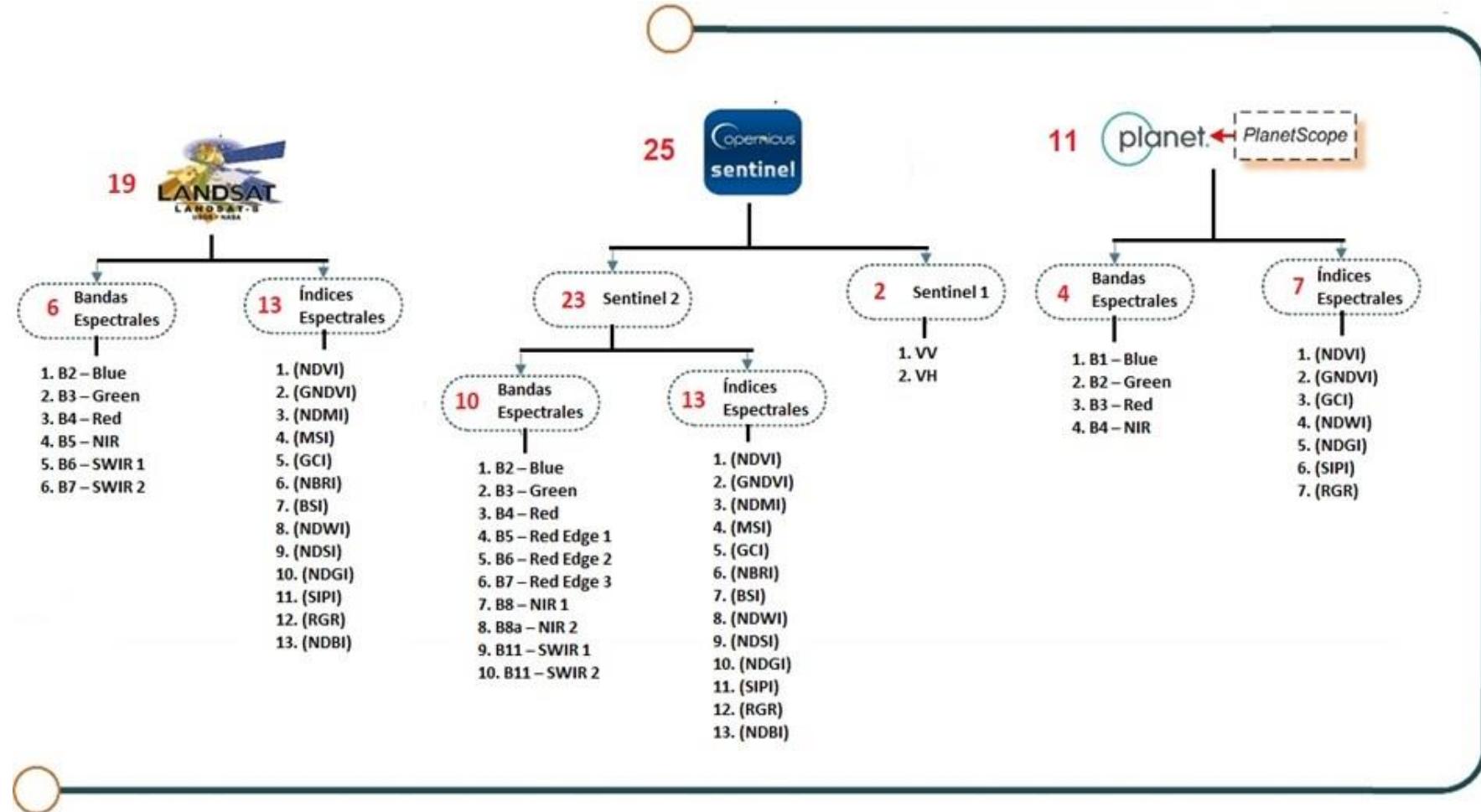
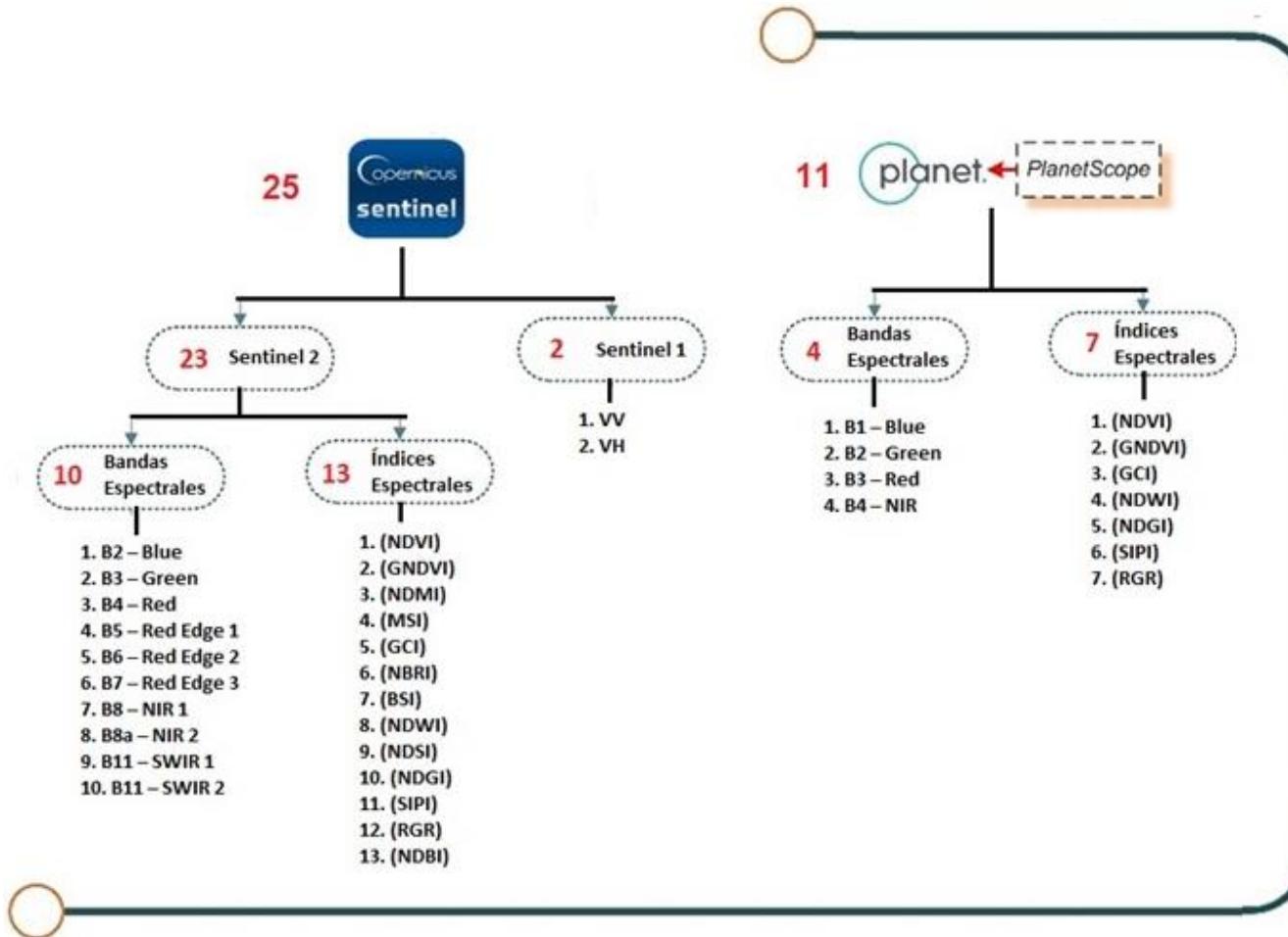


Ilustración 58: Lista de bandas e índices del subconjunto 2 de las variables de entrada del clasificador Random Forest para el año 2020



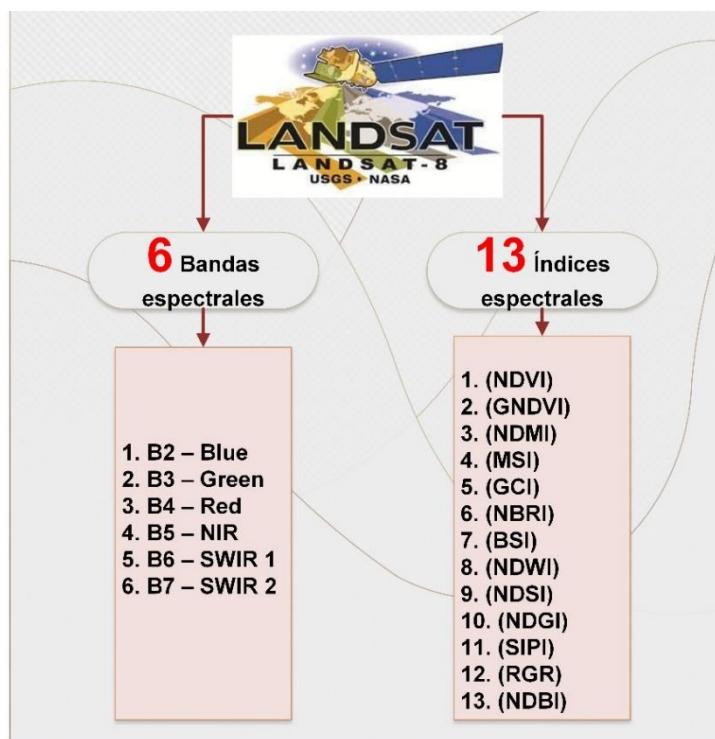
- Subconjunto 3: Se utilizó solo las bandas espectrales del sensor Sentinel-2 dando un total de 10 variables de entrada, es decir no se tuvo en cuenta los índices espectrales (Ilustración 59 y Anexo 6).

Ilustración 59: Lista de bandas e índices del subconjunto 3 de las variables de entrada del clasificador Random Forest para el año 2020



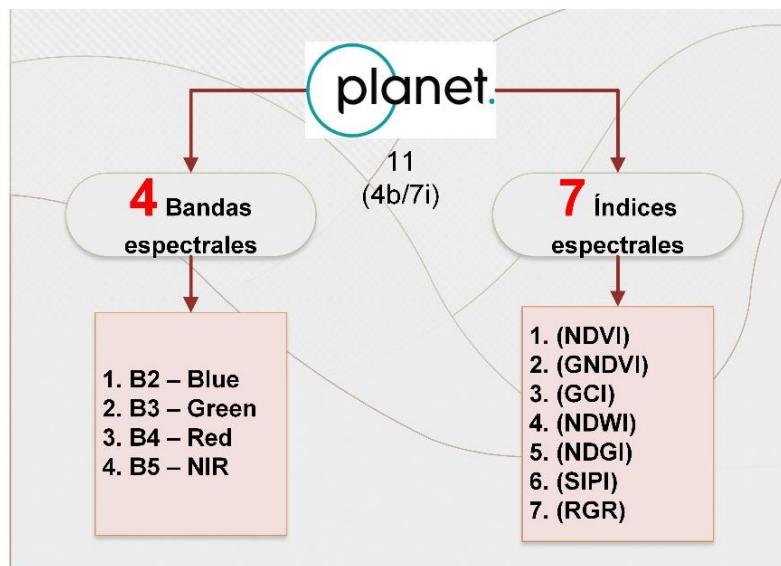
- Subconjunto 4: Se utilizó las bandas y los índices espectrales solo del sensor Landsat-8 dando un total de 19 variables de entrada (Ilustración 60 y Anexo 7).

Ilustración 60: Lista de bandas e índices del subconjunto 4 de las variables de entrada del clasificador Random Forest para el año 2020



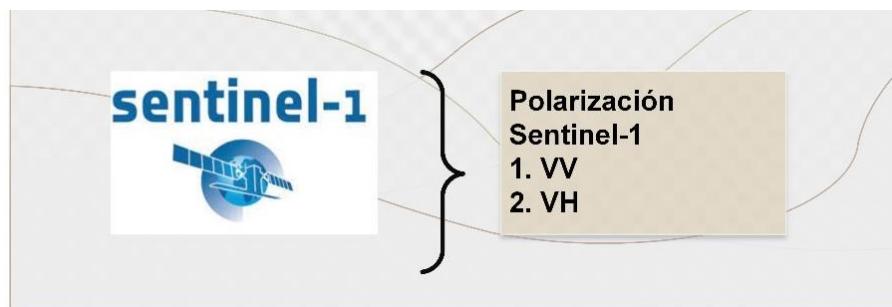
- Subconjunto 5: Se utilizó las bandas y los índices espectrales solo del sensor PlanetScope dando un total de 11 variables de entrada (Ilustración 61 y Anexo 8).

Ilustración 61: Lista de bandas e índices del subconjunto 5 de las variables de entrada del clasificador Random Forest para el año 2020



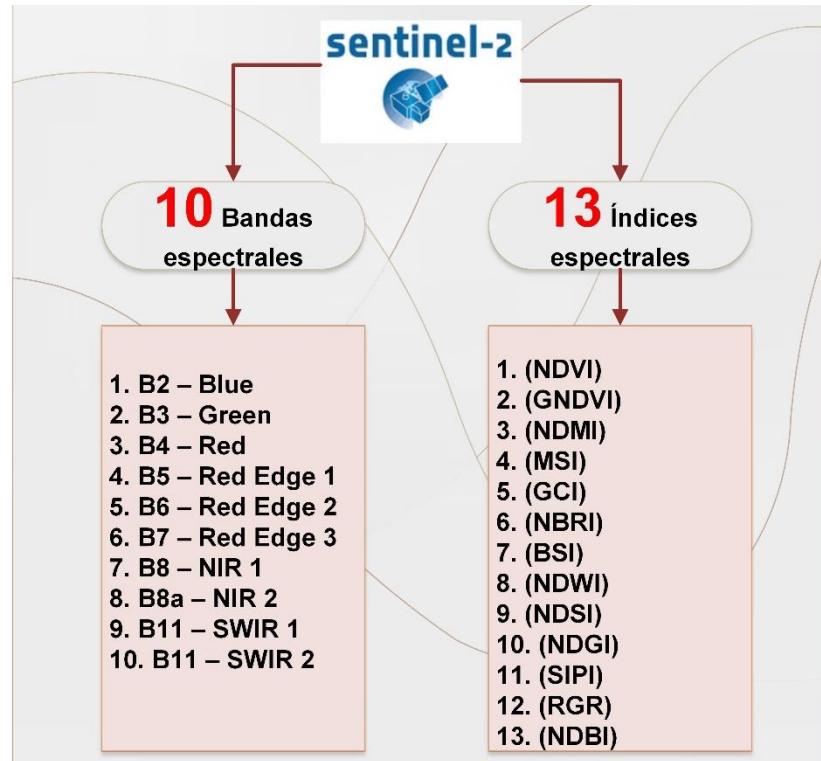
- Subconjunto 6: Se utilizó solo el resultado de la polarización de Sentinel-1 en VV y VH dando un total de 2 variables de entrada (Ilustración 62 y Anexo 9).

Ilustración 62: Lista de bandas e índices del subconjunto 6 de las variables de entrada del clasificador Random Forest para el año 2020



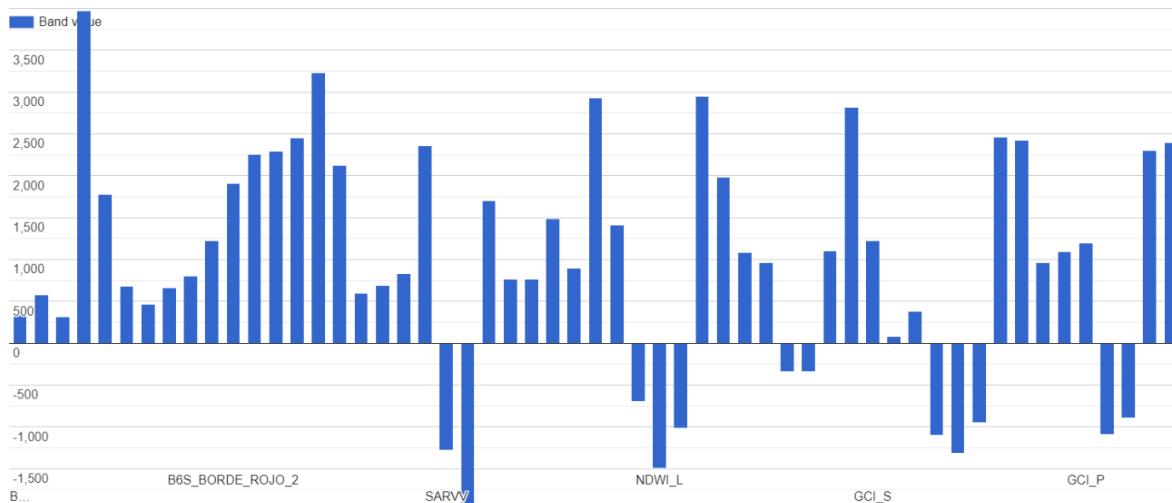
- Subconjunto 7: Se utilizó las bandas y los índices espectrales únicamente del sensor Sentinel-2 dando un total de 23 variables de entrada (Ilustración 63 y Anexo 10).

Ilustración 63: Lista de bandas e índices del subconjunto 7 de las variables de entrada del clasificador Random Forest para el año 2020



El utilizar de manera colaborativa la información de los satélites de observación de la tierra permite generar diferentes combinaciones de variables de entrada para identificar coberturas del suelo de forma más detalladas. Gracias a la alta cantidad de información que se posee. En resumen, para cada cobertura del suelo se podrá identificar los valores que tienen en cada variable de entrada. La Ilustración 64 muestra el gráfico de valores de las variables clasificadoras para un píxel.

Ilustración 64: Gráfico de valores de variables clasificadoras para un píxel



(ii) Clasificación supervisada del año 2020

Entrando ya en la ejecución propia de la clasificación supervisada en GEE utilizando el algoritmo Random Forest, para cada uno de los siete subconjuntos de variables de entrada¹⁹ explicados anteriormente. Se utilizaron 285 muestras de entrenamiento para identificar 7 coberturas del suelo (Tabla 36). La Ilustración 65 muestra los píxeles de entrenamiento y validación del año 2020.

Ilustración 65: Píxeles de entrenamiento y validación del año 2020.

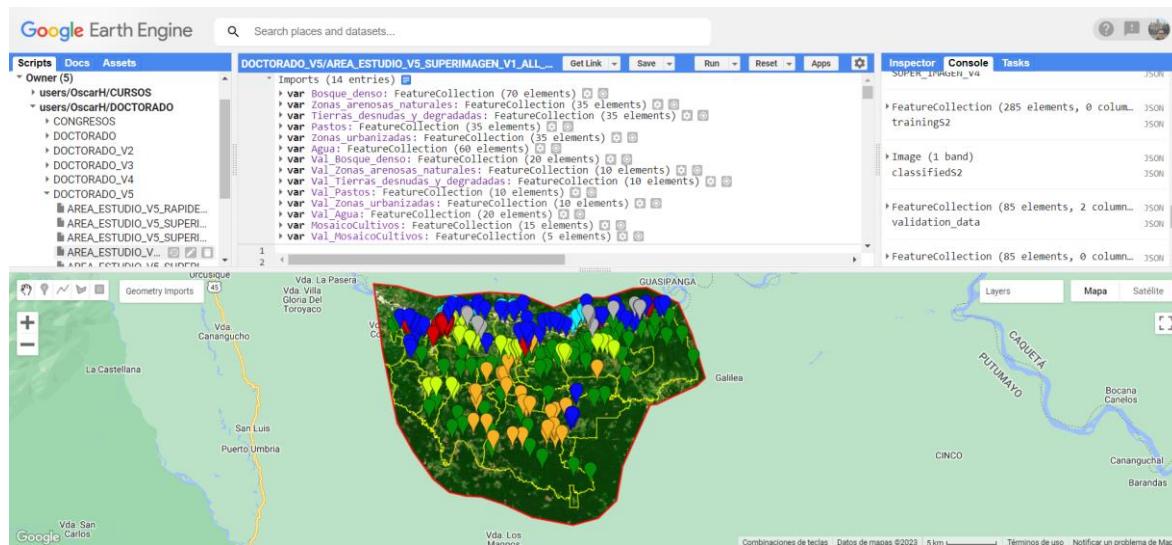


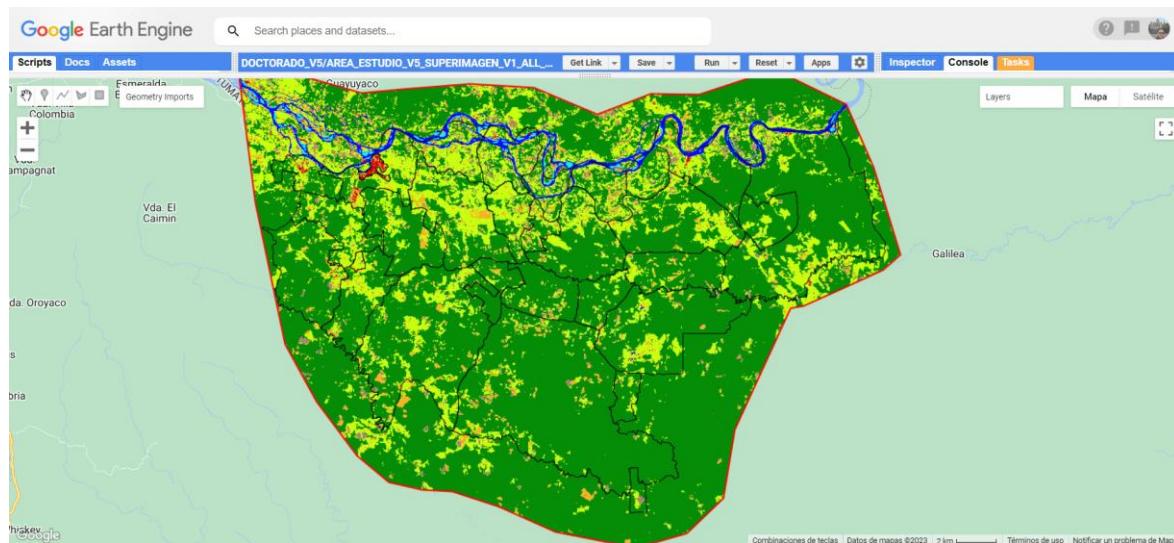
Tabla 36: Listado de coberturas identificadas a través de la clasificación supervisada

ID	COBERTURAS
1	Bosque denso
2	Zonas arenosas naturales
3	Tierras desnudas y degradadas
4	Pastos
5	Zonas urbanizadas
6	Agua
7	Mosaico de cultivos

Una vez entrenado el modelo, se corrió para toda el área de estudio. Este proceso se replicó para cada una de las siete combinaciones de variables de entrada (Ilustración 66).

¹⁹ Se destaca que, para los siete subconjuntos de variables de clasificación, se utilizó la misma muestra tanto para el entrenamiento como para la validación del modelo.

Ilustración 66: Resultado de la clasificación supervisada usando el algoritmo Random Forest



(iii) Composición del conjunto de datos del año 2010

Descarga de las imágenes satelitales para el año 2010

Respecto al año 2010 se realizó la búsqueda de imágenes de los satélites de observación de la tierra disponibles para ese año (Landsat-5 y Landsat-7) pero no se encontró una imagen óptima para procesar y generar coberturas, en el caso de Landsat-5 las imágenes tenían una alta nubosidad y en el caso de Landsat-7 si bien se encontró imágenes con menos nubosidad el problema de bandeo que tiene este satélite no permitió que la imagen sea óptima.

Para solucionar esta escasez de datos para el año 2010 se procedió a realizar una búsqueda a través de la licencia de Education and Research Program (Planet Labs, 2022b), que permitió tener acceso a imágenes del programa RapidEye, con la ventaja de que se encontraron imágenes con baja nubosidad y que cubrían toda el área de estudio. La fecha de toma seleccionada fue del 05 de julio de 2010, y se descargaron con un nivel de preprocesamiento SR, es decir, ya con correcciones atmosféricas. Este es el mismo nivel de preprocesamiento con el que se trabajó las imágenes de los sensores del año 2020.

La descarga de RapidEye se realizó a través de la plataforma de Planet Explorer (Planet Labs, 2022a). El proceso fue el siguiente: se ingresó a la plataforma de Planet Explorer, se autenticó el usuario y se cargó el polígono del área de estudio, se procedió a indicar los parámetros de búsqueda de las imágenes, en este caso, ubicación (Ilustración 67) y fecha (Ilustración 68). En la Ilustración 69 se muestran los resultados de la búsqueda y en la

Ilustración 70 la selección de las imágenes RapidEye a descargar. Al momento de descargar, PlanetExplorer ofrece opciones de preprocesamiento de las imágenes, se seleccionó el nivel SR, por ser el de mayor nivel de corrección (Ilustración 71).

Ilustración 67: Parámetros de búsqueda de ubicación y sensor de las imágenes en Planet Explorer

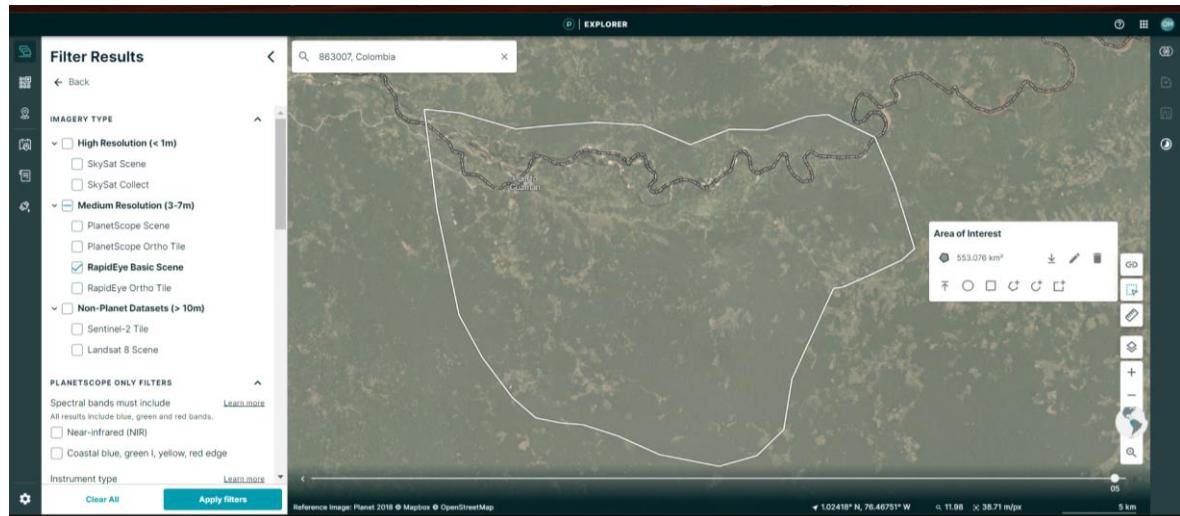


Ilustración 68: Parámetros de búsqueda de fecha de las imágenes en Planet Explorer

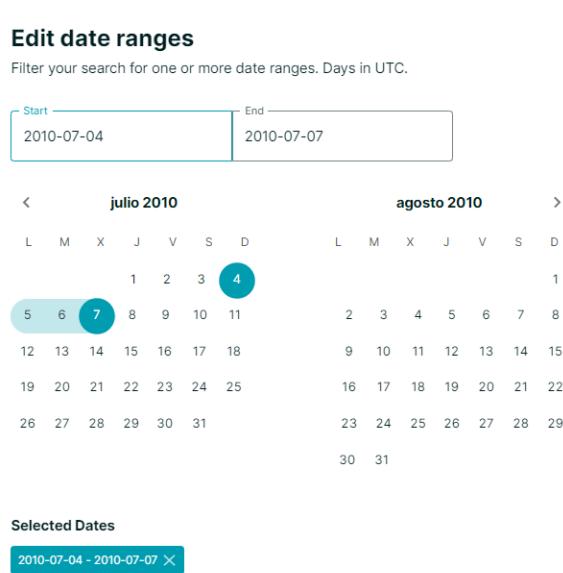


Ilustración 69: Resultado de búsqueda de imágenes RapidEye

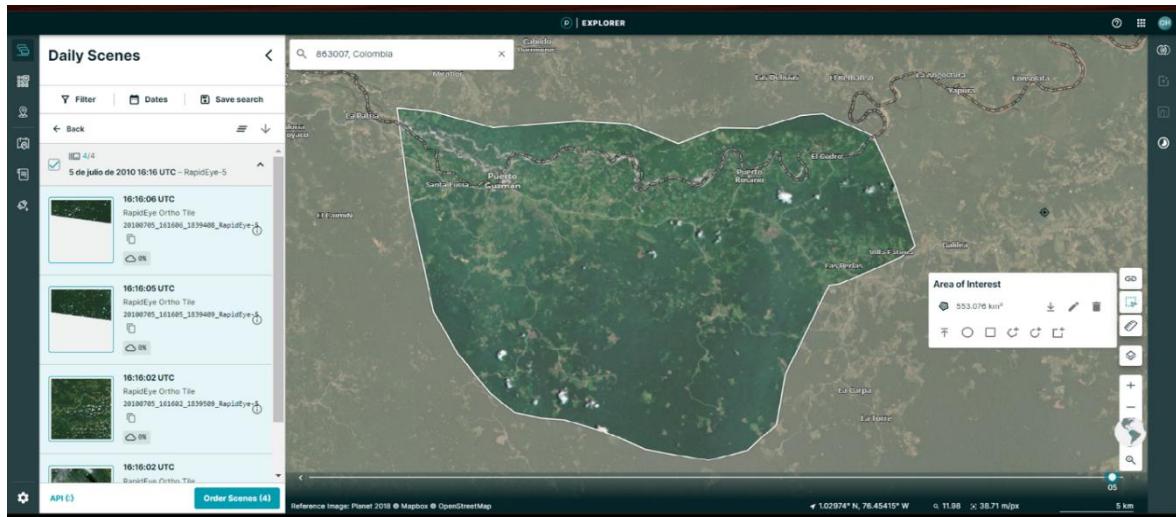


Ilustración 70: Selección de las imágenes RapidEye a descargar

The screenshot shows the 'Order Imagery' process. On the left, there is a progress bar with four steps: 1 Delivery options, 2 Name order, 3 Select assets, and 4 Tools & review. Step 2, 'Name order', is currently active. It has a field 'Order Name*' containing 'RapidEye_2010_07_05'. Below the field, it says '19/200'. At the bottom of this section, there is a 'Continue' button. To the right, there is a 'Order Summary' panel. It shows the order name 'RapidEye_2010_07_05' and the number of items '1'. Under 'RapidEye Ortho Tile', it lists '4 items' and 'Surface reflectance - 4 band'. There are three download options: 'GeoTIFF', 'UDM', and 'Clipped'. At the bottom of the summary panel, there is a 'Order' button.

Ilustración 71: Filtros de preprocesamiento

The screenshot shows the 'Order Imagery' interface. At the top, there are four tabs: 1 Delivery options, 2 Name order, 3 Select assets, and 4 Tools & review. The 'Select assets' tab is active.

RECTIFIED ASSETS

- Visual:** Optimized for visual analysis - RGB only. Options: GeoTIFF (selected), NITF.
- Surface reflectance:** Corrected for surface reflectance: recommended for most analytic applications. Options: GeoTIFF (selected), NITF, UDM.
- Analytic radiance (TOAR):** Calibrated to top of atmosphere radiance. Options: GeoTIFF (selected), NITF, UDM.

Order Summary

Order name: **RapidEye_2010_07_05**
Orders to be placed: 1

RapidEye Ortho Tile

4 items: Surface reflectance. Options: GeoTIFF, UDM, Clipped.

Una vez descargada esta fue cargada a GEE, en la Ilustración 72 se muestra la carga de la imagen RapidEye a GEE.

Ilustración 72: Carga de la imagen RapidEye a GEE

The screenshot shows the Google Earth Engine (GEE) interface. On the left, the 'Assets' panel shows a tree structure of datasets. In the center, a map displays a polygon labeled 'AREA_ESTUDIO_V5_RAPIDEYE_V1_ALL_V1'. On the right, the 'Inspector' panel shows various GEE objects like FeatureCollection and Image. The 'Console' tab contains a script:

```

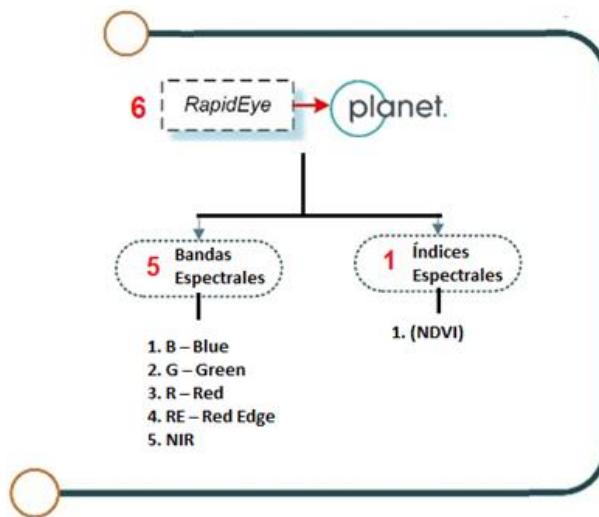
var RAPIDEYE_2010 = ee.Image('users/OscarH/DOCTORADO_V5/RAPIDEYE_2010_OK');
var RAPIDEYE_2010_AE = RAPIDEYE_2010.clip(AREA_ESTUDIO_V4);
print(RAPIDEYE_2010_AE,"RAPIDEYE_2010_AE");
Map.addLayer(RAPIDEYE_2010_AE, {
  max: 1350,
  min: 200,
  gamma: 1.15,
  bands: ["b3","b2","b1"],
  "Imagen Rapideye 2010", 0);

```

(iv) Clasificación supervisada del año 2010

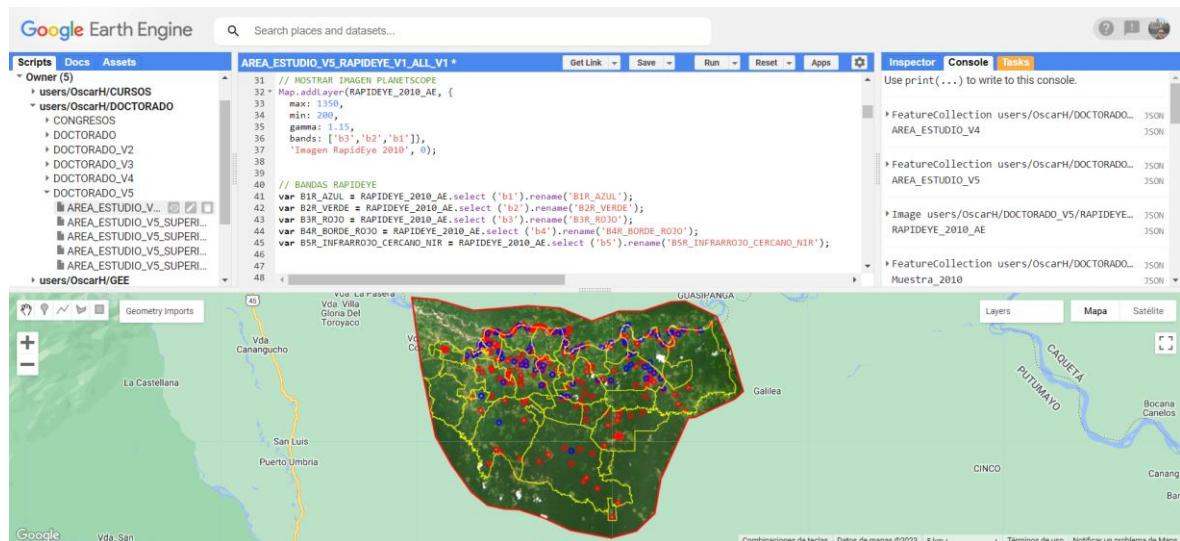
Para la clasificación supervisada del año 2010 se procesó la imagen de RapidEye para generar el índice de vegetación NDVI y se combinó con las 5 bandas espectrales del sensor (Blue -B, Green -G, Red -R, Red Edge -RE y Near Infrared -NIR). Estas dos tareas se realizan con GEE, de la misma manera que se ha hecho en el año 2020. En total se obtuvo una imagen con 6 variables de clasificación (Ilustración 73).

Ilustración 73: Lista de bandas e índices de las variables de entrada del clasificador Random Forest para el año 2010



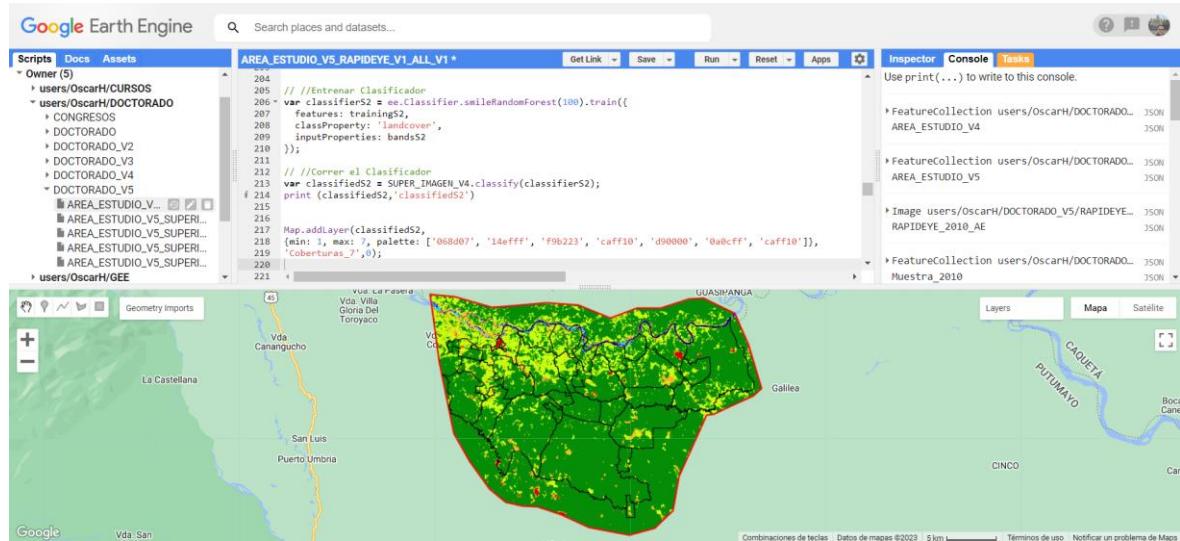
La clasificación supervisada en GEE se hace utilizando de nuevo el algoritmo Random Forest. En este caso se utilizaron 250 muestras de entrenamiento para identificar 7 coberturas del suelo (Tabla 36). La Ilustración 74 muestra los píxeles de entrenamiento y validación para el año 2010.

Ilustración 74: píxeles de entrenamiento y validación del año 2010



Una vez entrenado el modelo, se corrió para toda el área de estudio (Ilustración 75).

Ilustración 75: Resultado de la clasificación supervisada usando el algoritmo Random Forest



(v) Validación de la clasificación supervisada del algoritmo Random Forest para los años 2020 y 2010.

Para validar la clasificación supervisada en GEE se generó una matriz de confusión a partir de la muestra de validación y el resultado de la clasificación, dando como resultado la precisión general y el coeficiente de Kappa.

La matriz de confusión se utiliza para medir la precisión de muchos productos derivados de sensores remotos (por ejemplo, clasificaciones de cobertura terrestre) y en general, de datos espaciales (ISO, 2013). La matriz de confusión ha sido adoptada como el estándar para informar sobre la precisión temática (Comber et al., 2012). De esta manera, la Norma Internacional 19157 la incluye como medida para evaluar la calidad temática (ISO, 2013).

El contenido de la matriz son un conjunto de valores que representan el grado de similitud entre las observaciones pareadas entre un conjunto de datos controlados (CDS), es decir un producto y un conjunto de datos de referencia (RDS) (por ejemplo, datos reales). En la matriz los elementos diagonales contienen los elementos correctamente clasificados, y los elementos fuera de la diagonal contienen el número de confusiones o los errores por omisiones o comisiones. Una forma muy habitual de realizar el análisis de precisión temática de una matriz de error, es mediante índices globales (por ejemplo, precisión global, coeficiente Kappa) (Ariza-López et al., 2018).

La matriz estima la precisión de una clasificación comparando los resultados de la clasificación frente a áreas verdad terreno, especificando el número total de píxeles de referencia, que siendo de un tipo dado, han sido asignados a cada una de las clases. A partir de esta matriz, se calculan diversos parámetros que estiman su precisión, como (Nicolás et al., 2010, p. 5):

“a) la precisión global, P, que cuantifica el número de píxeles correctamente clasificados, b) la precisión del productor, P_p, que indica la probabilidad de que un píxel de la clase i está correctamente clasificado, y c) la precisión del usuario, P_u, que indica la probabilidad de que un píxel clasificado como clase i corresponda realmente a dicha clase.

Las precisiones de productor y usuario están relacionadas con los errores de “omisión” y “comisión” respectivamente, es decir, los errores que cuantifican cuántos píxeles pertenecientes a la región de interés de la clase i no están clasificados como dicha clase y cuántos píxeles clasificados como clase i hay en las regiones de interés de clases diferentes a esta. Además, el coeficiente Kappa calcula el acuerdo entre la imagen clasificada y la realidad observada debido únicamente a la exactitud de la clasificación, suprimiendo el acuerdo que cabría esperar simplemente por azar”.

Para el cálculo de la exactitud global (ExG), también conocida como precisión general o acierto global, se relacionan los elementos de la diagonal con el total de puntos de muestreo (Segura & Trincado, 2003):

$$ExG = \frac{\sum_{i=1,a} X_{ii}}{\sum_{i=1,n} \sum_{j=1,n} X_{ij}}$$

donde:

X_{ii} = elementos de la diagonal,

X_{ij} = total de puntos muestreados.

Un valor de la exactitud global cercano a 1 (100%) indica un alto rendimiento del modelo, lo que significa que la mayoría de las muestras se clasificaron correctamente, mientras que un valor cercano a 0 (0%) indica un rendimiento deficiente del modelo, donde la mayoría de las muestras se clasificaron incorrectamente.

El coeficiente Kappa permite un análisis de las relaciones múltiples entre las categorías de la muestra. Este índice estadístico mide la diferencia entre el acuerdo mapa-realidad observado y el que se podría esperar simplemente por azar (Segura & Trincado, 2003). Al analizar las relaciones múltiples entre las distintas clases, evalúa si una matriz de error es significativamente diferente de otra (Cruz et al., 2020). El estadístico Kappa se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$K_{hat} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}$$

donde:

r = número de filas en la matriz,

X_{ii}= número de observaciones en la fila i y columna i,

X_{i+}; X_{+i} = total marginal para la fila i y columna i,

N = número total de observaciones.

Un valor de Kappa igual a 1 indica un acuerdo pleno entre la realidad y el mapa, mientras que un valor cercano a 0 sugiere que el acuerdo observado es puramente debido al azar (Segura & Trincado, 2003).

Para el año 2020 se utilizaron 85 muestras de validación, mientras que para el año 2010 fueron 75 muestras de validación, la diferencia se debe a que el total de la muestra para entrenar el modelo en el año 2020 fue ligeramente mayor con respecto al año 2010, debido a que se contaba con más información para dicho año.

4.1.2 Generación de coberturas del suelo a partir de una clasificación supervisada utilizando el algoritmo k-NN

Con el objeto de obtener una segunda clasificación supervisada para los años 2010 y 2020 en el área de estudio, se implementó un flujo de trabajo utilizando el software MiraMon, que integra el algoritmo de clasificación supervisada k-NN. En particular, el algoritmo k-NN es un método bien conocido que se utiliza en los sistemas modernos de recuperación de

información con el objetivo de obtener objetos relevantes en función de su similitud con un objeto de consulta dado (Riquelme et al., 2020).

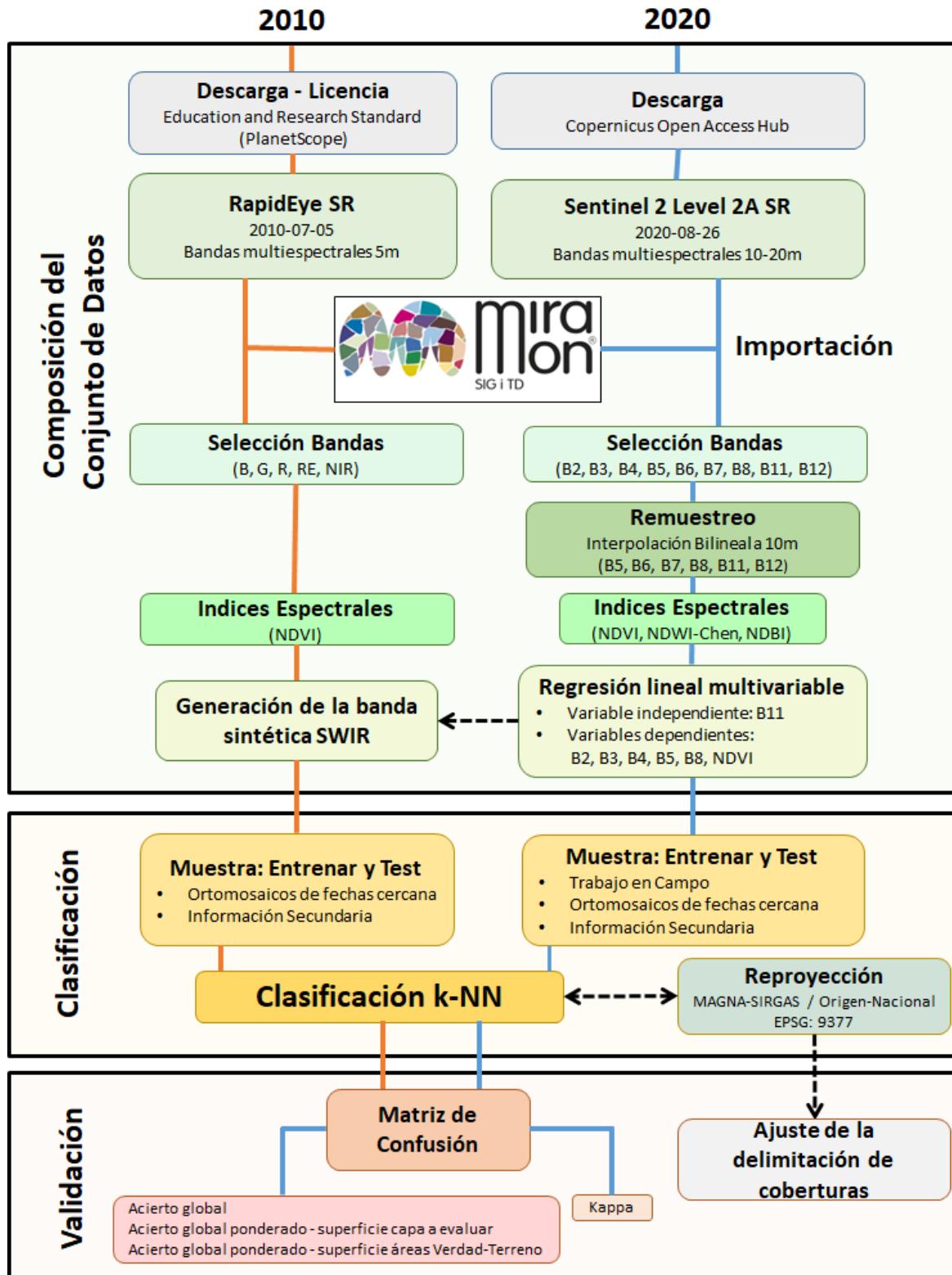
Las ventajas del algoritmo k-NN son: que es una técnica de clasificación fácil de entender y de implementar, simple, efectivo e intuitivo, y que tiene un desempeño competitivo en muchos dominios. Es robusto a los datos ruidosos del entrenamiento y es eficaz si hay un número alto de áreas de entrenamiento. Entre las desventajas está que el coste del cálculo es bastante alto, porque es necesario calcular la distancia de cada objeto a todas las muestras de entrenamiento (Escobar et al., 2021).

Todo este proceso para poder realizar la clasificación supervisada con el algoritmo k-NN se desarrolló en tres etapas para cada año las cuales se muestran en Ilustración 76.

En la primera etapa, se realizó la composición del conjunto de datos mediante descarga de las imágenes satelitales necesarias para cada año de estudio. Para la generación de las coberturas correspondientes al año 2020 se utilizó información espacial proveniente del sensor Sentinel-2, mientras que para el 2010 se emplearon datos espaciales del sensor RapidEye. La segunda etapa consistió en la generación de las coberturas del suelo mediante la aplicación de la clasificación supervisada usando el algoritmo k-NN. Y la tercera etapa fue la validación de la clasificación supervisada.

Durante el año 2020, se contó con sensores satelitales de observación de la Tierra más avanzados (Sentinel-2), lo cual permitió disponer de datos más completos en términos de las bandas espectrales disponibles. No obstante, para el año 2010, los datos disponibles del satélite eran más limitados. Para abordar la falta de información en el año 2010, se aplicó una técnica de correlación lineal múltiple utilizando la información obtenida en el año 2020. Esto permitió generar de manera sintética la banda SWIR que se encontraba ausente en el año 2010. Posteriormente, se realizó una comparación de precisión entre la cobertura generada con el uso de la banda sintética y la cobertura generada sin el uso de la banda sintética, para ver si ayuda a mejorar la clasificación. El esquema de la Ilustración 76 muestra las fases de la elaboración de cubiertas del suelo 2010 y 2020.

Ilustración 76: Flujo metodológico obtención cartografía cobertura años 2010 y 2020 y validación de la precisión



(i) Composición del conjunto de datos del año 2020

Descarga de las imágenes satelitales Sentinel-2 para el año 2020

La descarga de las imágenes de Sentinel-2 se realizó a través de la plataforma de Copernicus Open Access Hub (Copernicus Open Access Hub, 2022). El proceso fue el siguiente: se ingresa a la plataforma, se autentica el usuario, se carga el polígono del área de estudio, se procede a indicar los parámetros de búsqueda de las imágenes, en este caso, ubicación (Ilustración 77), fecha y el sensor especificando el nivel de preprocesamiento (en nuestro caso Sentinel-2 MSI - Level-2A Product) (Ilustración 78). Los resultados de la búsqueda dieron los siguientes ID, que son los mismos que las imágenes utilizadas con GEE (Ilustración 79):

- S2A_MSIL2A_20200826T152641_N0214_R025_T18NUF_20200826T193439
- S2A_MSIL2A_20200826T152641_N0214_R025_T18NUG_20200826T193439

Ilustración 77: Parámetros de búsqueda de ubicación de las imágenes en Copernicus Open Access Hub



Ilustración 78: Parámetros de búsqueda de fecha y parámetros del sensor Copernicus Open Access Hub

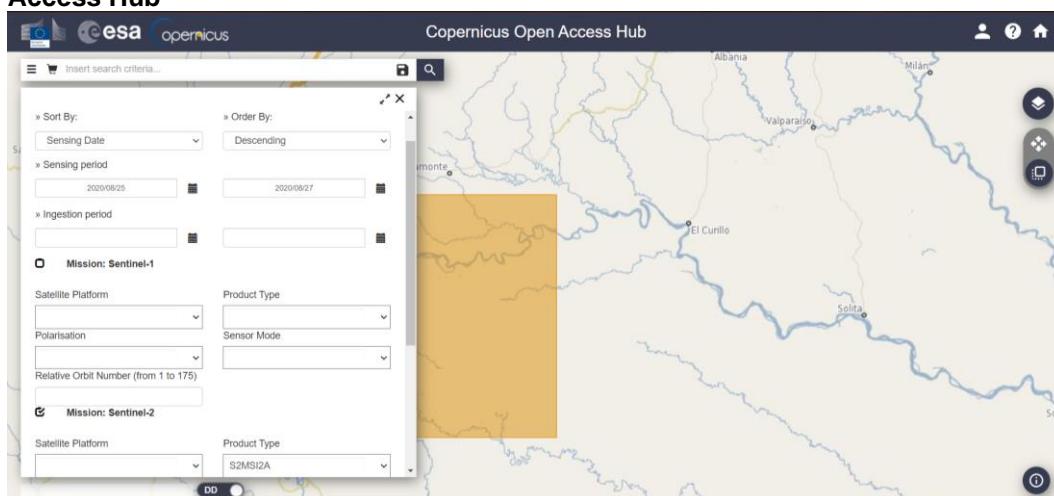
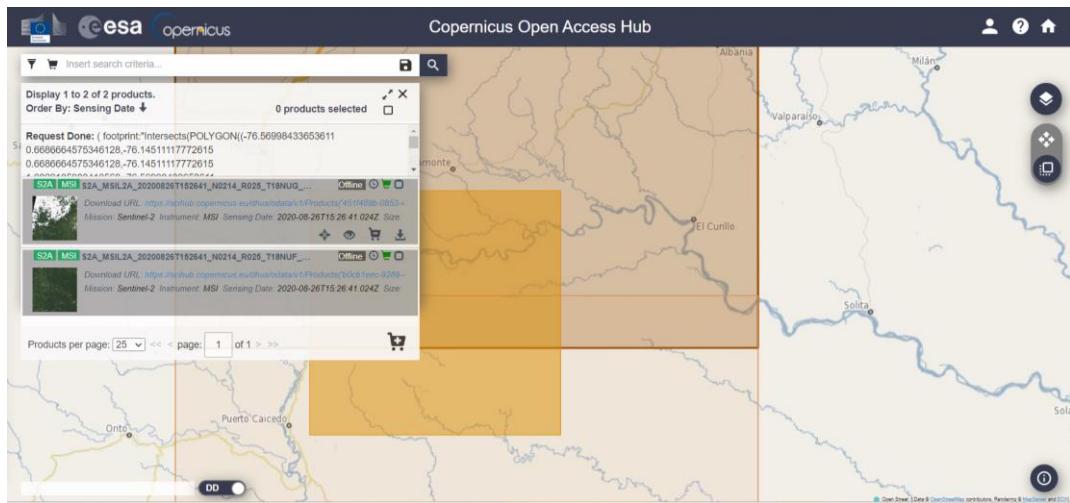


Ilustración 79: Resultado de búsqueda de imágenes Sentinel-2 MSI - Level-2A Product



Procesamiento de las imágenes satelitales del año 2020

Se utilizó el software MiraMon (MiraMon, 2023) para procesar las imágenes satelitales. Una vez descargadas, se generó un mosaico y se recortaron para el área de estudio. La imagen resultante de la composición se importó a MiraMon y se seleccionaron las bandas con las que se va a trabajar: B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B8a, B11 y B12.

Las bandas B2, B3, B4, y B8 tienen 10 metros de resolución, mientras que, las bandas B5, B6, B7, B8a, B11 y B12 tienen 20 metros de resolución (Tabla 11). Por lo tanto, se realizó un remuestreo de las segundas a 10 metros a través de la interpolación bilineal.

Índices espectrales

Como se explicó en el apartado 4.1.1 los índices espectrales se derivan de combinaciones específicas de bandas espectrales de satélites y permiten la modelización e inferencia de diversos procesos superficiales. Por este motivo se calcularon los siguientes índices espectrales: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI-Chen (Normalized Difference Water Index Chen, Huang, Jackson) y NDBI (Normalized Difference Built-up Index). Mediante la calculadora de ráster de MiraMon (Ilustración 80).

- **Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI)**

El índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI). Este índice aprovecha el contraste de las características de dos bandas de un dataset ráster multiespectral: las absorciones de pigmento de clorofila en la banda roja y la alta reflectividad del

material de las plantas en la banda cercana al infrarrojo (NIR) (Gama et al., 2022). El NDVI es usado para realizar un seguimiento de las sequías, ayudar en la predicción de las zonas con riesgo de incendio y cartografiar la desertización (Gutierrez, 2023), sus valores se encuentran dentro del rango (-1 y 1).

- **NDWI-Chen (Índice de diferencia normalizada de agua - Chen et al, 2005)**

La fórmula del índice propuesto por Chen et al, 2005 para determinar el contenido de agua en la vegetación se relaciona a continuación:

$$\text{NDWI}_{1640} = \frac{(\text{NIR}_{858 \text{ nm}} - \text{SWIR}_{1640 \text{ nm}})}{(\text{NIR}_{858 \text{ nm}} + \text{SWIR}_{1640 \text{ nm}})}$$

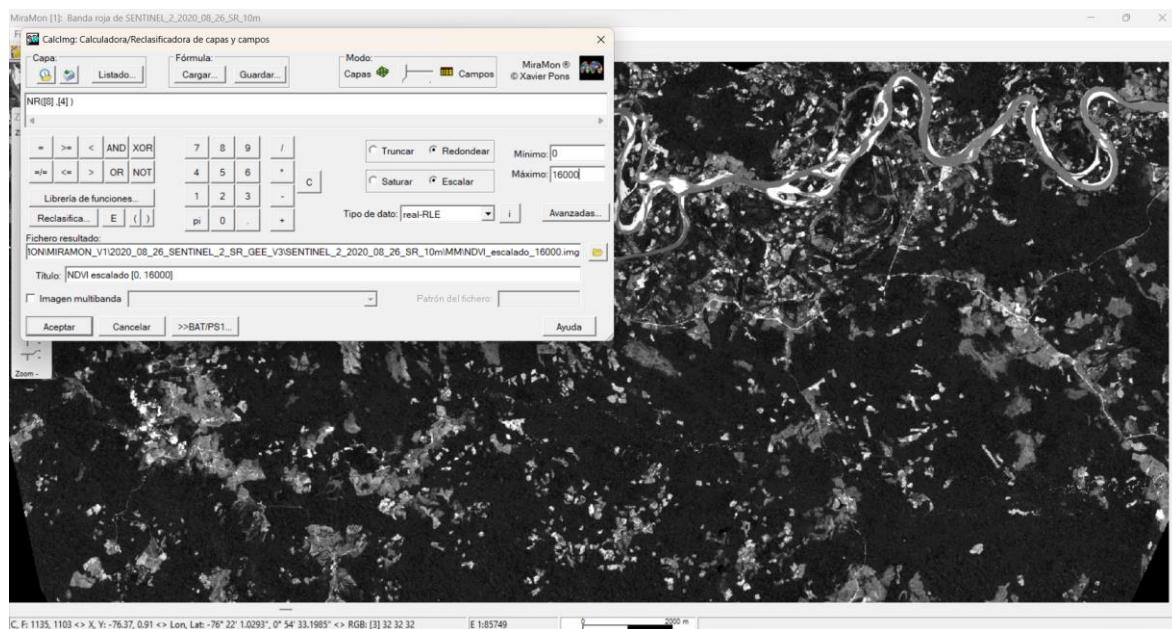
El índice de agua de diferencia normalizada permite generar una representación mediante una imagen de los cambios en el contenido de agua de la vegetación, conocido también como estrés hídrico de vegetación, sus valores se encuentran dentro del rango (-1 y 1). Los valores menores a 0 corresponden a zonas brillantes sin presencia de humedad y los superiores a 0 están asociados a la presencia de humedad (Pech et al., 2023).

- **Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI)**

Este tipo de índices son capaces de mostrar la proporción de construcción (consolidadas o sin consolidar) de cada píxel en el área de estudio. Los valores del NDBI están expresados entre -1 y +1, siendo los negativos áreas con vegetación, los intermedios cultivos, zonas desnudas o en construcción; y, los positivos las coberturas de suelo edificadas o de infraestructura (Zha et al., 2010).

Volviendo a la metodología que nos ocupa, es importante mencionar que al ser índices de diferencia normalizada sus valores están dentro del rango -1 hasta 1, por lo que fue necesario hacer un escalado entre 0 a 16.000 debido a que los valores de las bandas espectrales estaban entre estos rangos (Ilustración 80).

Ilustración 80: Cálculo de índices espectrales y escalado de sus valores



Combinación de variables clasificadoras para el año 2020

Estos tres índices espectrales se combinaron con las 10 bandas seleccionadas de Sentinel-2 obteniendo así 13 variables clasificadoras para el año 2020 (Tabla 37), mediante proceso de generación de una imagen multibanda.

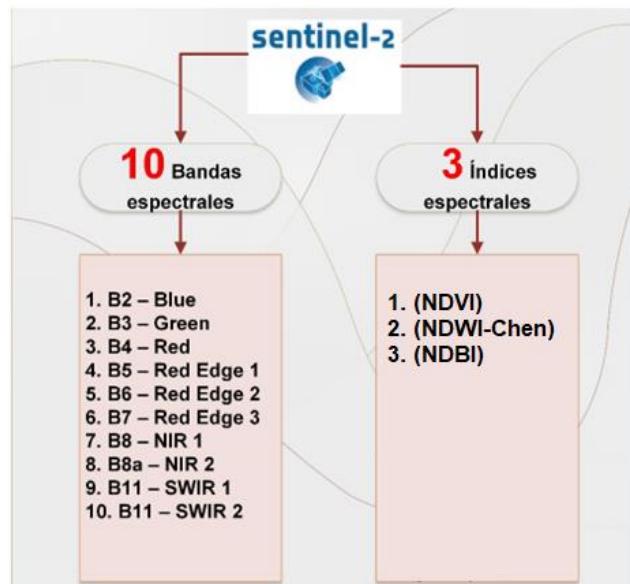
Tabla 37: Variables de clasificación para el año 2020

	CANTIDAD DE VARIABLES DE CLASIFICACIÓN
BANDAS ESPECTRALES Sentinel-2 B2S_AZUL B3S_VERDE B4S_ROJO B5S_BORDE_ROJO_1 B6S_BORDE_ROJO_2 B7S_BORDE_ROJO_3 B8S_INFRARROJO_CERCANO_NIR_1 B8AS_INFRARROJO_CERCANO_NIR_2 B11S_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_1 B12S_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_2	 10
ÍNDICES ESPECTRALES Sentinel-2 NDVI NDWI-Chen NDBI	3
TOTAL, VARIABLES DE CLASIFICACIÓN 2020	13

Contando ya con el producto resultante de la integración de las 13 variables de clasificación, se quiso evaluar si era significativo agregar los índices espectrales a las bandas para generar el mapa de coberturas del suelo a escala 1:25.000 para el año 2020. Para ello se realizaron 2 subconjuntos de variables de clasificación:

- Para subconjunto 1 se utilizaron las 13 variables de entrada es decir el producto completo que se acaba de explicar (Tabla 37). Las bandas e índices usados en el subconjunto 1 del año 2020 se resumen en la Ilustración 81.

Ilustración 81: Lista de bandas e índices del subconjunto 1 de las variables de entrada del clasificador (k-NN) para el año 2020



- Para el subconjunto 2 no se tuvo en cuenta los índices espectrales. Es decir, solo se tuvo en cuenta las bandas propias de Sentinel-2 dando un total de 10 variables clasificadoras. Las bandas usadas en el subconjunto 2 del año 2020 se resumen en la Ilustración 82.

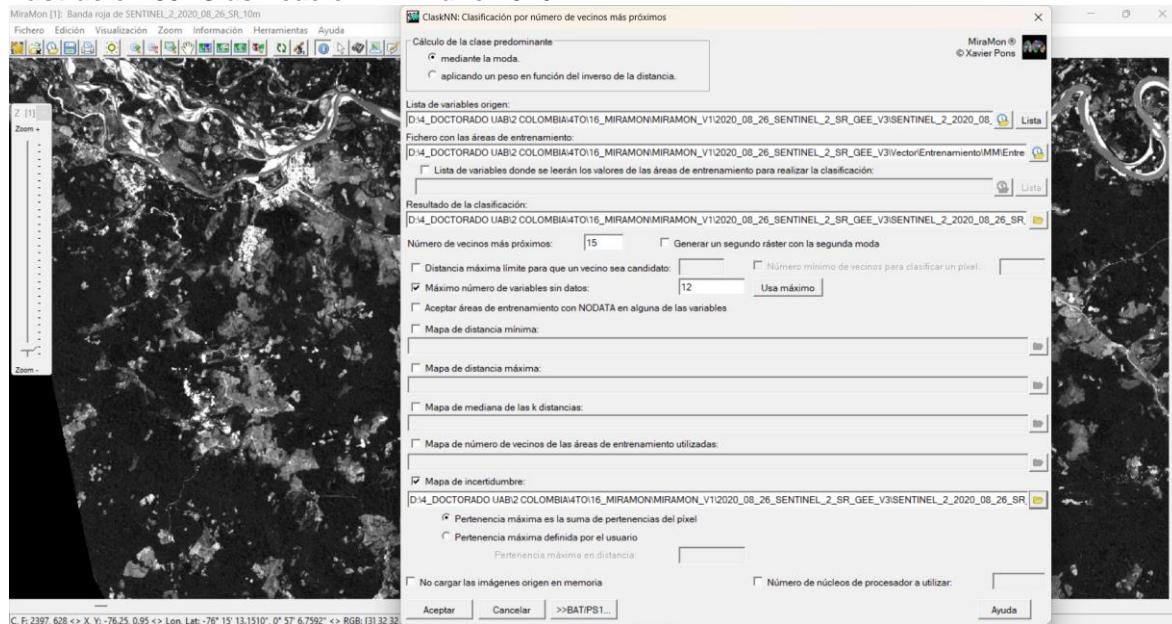
Ilustración 82: Lista de bandas e índices del subconjunto 2 de las variables de entrada del clasificador (k-NN) para el año 2020



(ii) Clasificación supervisada del año 2020

Determinados los 2 subconjuntos de variables de clasificación se pasó a realizar la clasificación supervisada en MiraMon utilizando el algoritmo k-NN (Ilustración 83) para cada una de las dos combinaciones de variables de entrada explicadas anteriormente. Las muestras fueron las mismas que las usadas con GEE para el año 2020, 285 para identificar 7 coberturas del suelo (Tabla 36).

Ilustración 83: Clasificación k-NN año 2020



(iii) Cálculo de coeficientes a partir de la regresión lineal múltiple y generación de la banda sintética del SWIR

Durante el año 2020 se utilizaron los productos de sensores satelitales de observación de la Tierra más avanzados, lo que permitió disponer de datos más completos en términos de las bandas espectrales disponibles, como el sensor Sentinel-2. En contraste, en el año 2010, la disponibilidad de datos fue más limitada, y buscando equilibrar los insumos para elaborar cartografías comparables se utilizó una imagen producto del sensor RapidEye, pero que no cuenta con la banda SWIR. Para abordar esta falta de información, se aplicó una técnica de correlación lineal múltiple disponible en el software MiraMon, para obtener los coeficientes necesarios que permitan crear una nueva banda sintética del SWIR para la imagen RapidEye para el año 2010.

La correlación lineal es un análisis de regresión, siendo la “simple” la más conocida y también la más sencilla. La regresión lineal simple analiza la relación entre dos variables cuantitativas, tratando de verificar si dicha relación es lineal. Ahora bien, si hay más de dos

variables es regresión múltiple (Montero, 2016). Como en esta propuesta se tendrían múltiples variables: las bandas y el NDVI, es apropiado usar la múltiple.

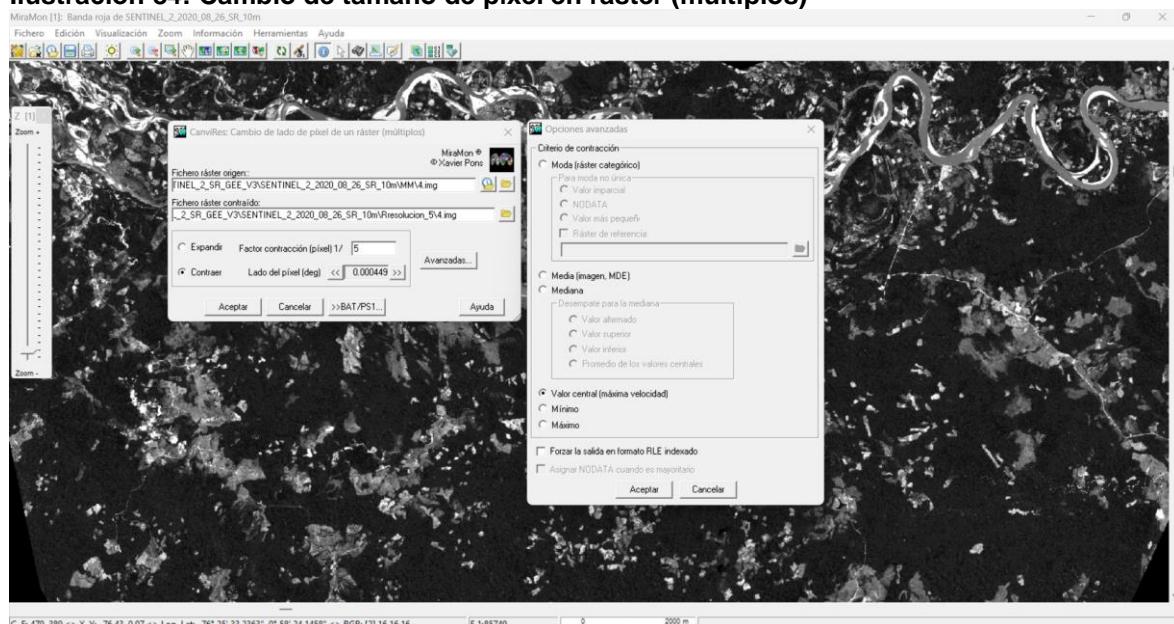
El primer paso para aplicar la correlación lineal múltiple fue identificar las bandas espectrales que tienen en común Sentinel-2 y RapidEye, junto con el índice espectral que se puede generar en los dos sensores (NDVI) (Tabla 38).

Tabla 38: Bandas espectrales que tienen en común Sentinel-2 y RapidEye y el índice espectral NDVI

Bandas Espectrales Sentinel-2	Bandas Espectrales RapidEye
B2 – Blue	B – Blue
B3 – Green	G – Green
B4 – Red	R – Red
B5 – Red Edge 1	RE – Red Edge
B8 – Near Infrared NIR	NIR – Near Infrared
NDVI	NDVI

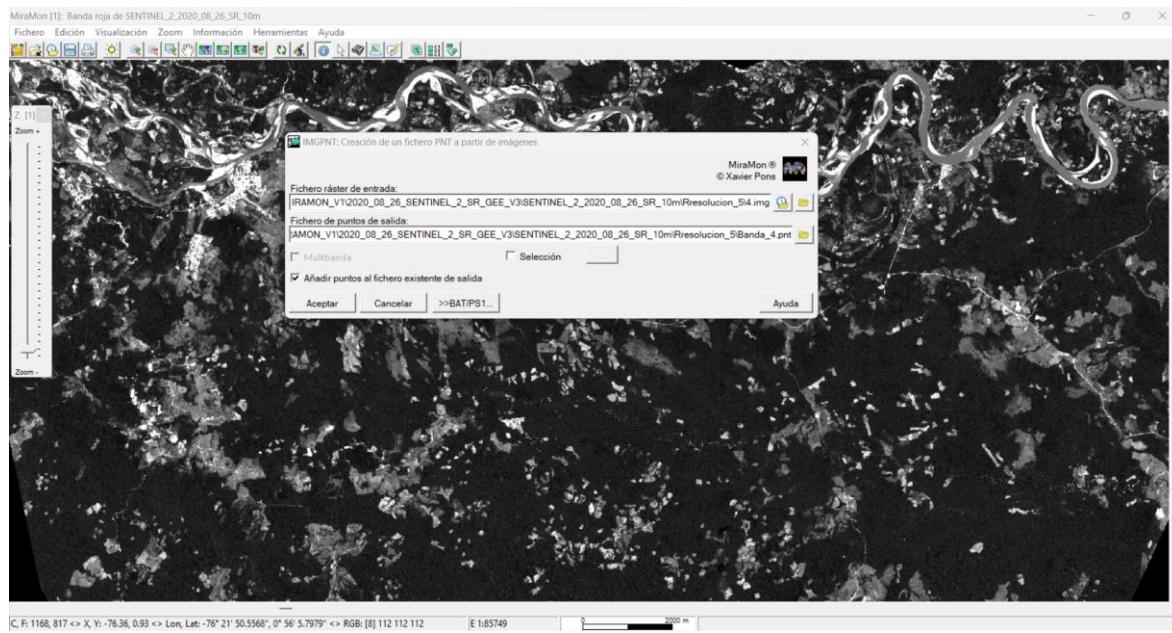
El segundo paso era identificar la relación entre las cinco bandas seleccionadas y el NDVI a partir de la información de cada píxel de la imagen del año 2020. Esto produce un gran volumen de información. Para evitar la necesidad de correlacionar este gran número de píxeles, se extrajo una muestra representativa distribuida por toda el área de estudio. Para lograrlo se amplió el tamaño del píxel (incremento de resolución), lo que redujo sustancialmente la cantidad de píxeles a considerar. En este caso, se transformó cada conjunto de 5x5 píxeles en 1 píxel y se conservó el valor central de cada conjunto sin realizar cálculos adicionales como la media o la moda. Para lo anterior se utilizó la herramienta “cambio de tamaño de píxel en ráster (múltiplos)” disponible en MiraMon (Ilustración 84). De esta manera, se logró obtener una muestra distribuida de manera uniforme en toda el área de estudio.

Ilustración 84: Cambio de tamaño de píxel en ráster (múltiplos)



Posteriormente, se realizó la conversión de los datos ráster a puntos utilizando la herramienta de vectorización (Creación de un fichero PNT a partir de imágenes). Esta herramienta da la opción de heredar los datos de todas las imágenes en un solo archivo de puntos (Ilustración 85).

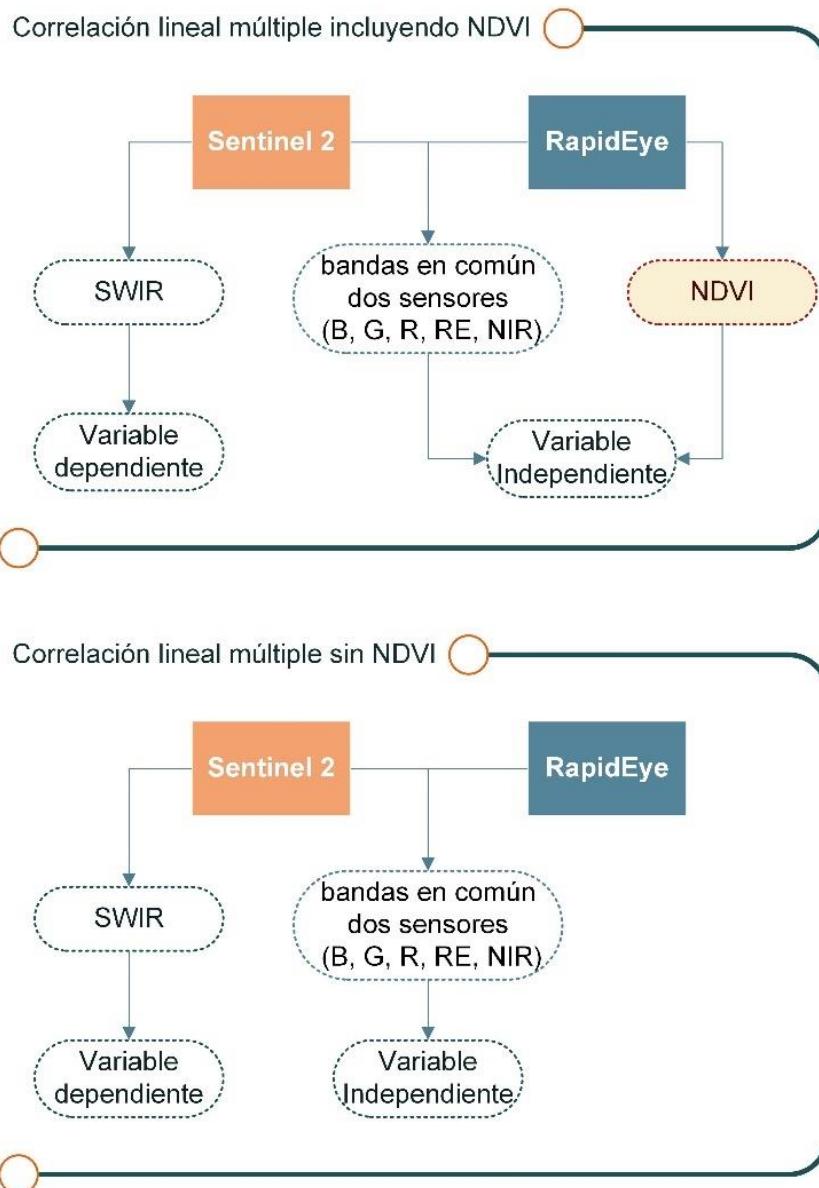
Ilustración 85: Creación de un fichero PNT a partir de imágenes



Una vez que se contó con los datos de las bandas en común, el índice espectral NDVI y la banda SWIR de Sentinel-2 en un solo archivo de puntos, se tenían los insumos para realizar los dos análisis de regresión lineal múltiple.

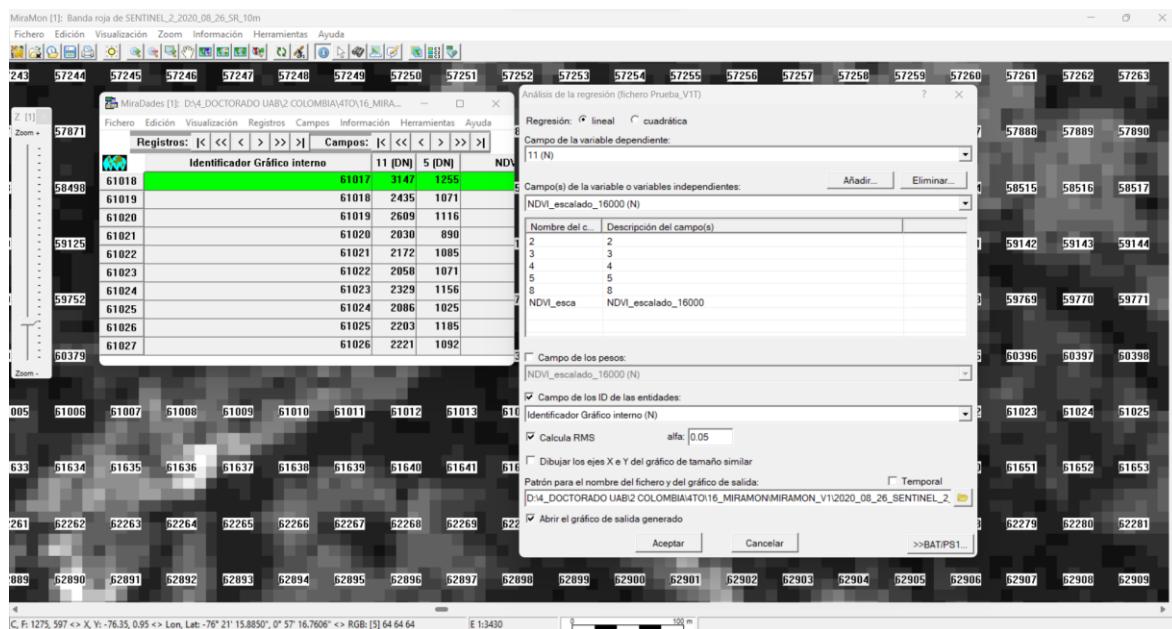
El primero consideró la banda SWIR como variable dependiente y las bandas en común entre los dos sensores (B, G, R, RE y NIR) junto con el índice NDVI como variables independientes. El segundo consideró la banda SWIR como variable dependiente y las bandas en común entre los dos sensores (B, G, R, RE y NIR) como variables independientes, sin tener en cuenta el NDVI. Para facilitar la interpretación de esta etapa se realizó un diagrama de flujo que se puede ver en la Ilustración 86, que muestra los componentes de las dos correlaciones lineales.

Ilustración 86: Comparación de las dos correlaciones lineales



Un criterio que en general se utiliza para ejemplificar lo adecuado de un modelo de regresión ajustado es el coeficiente de determinación múltiple R^2 , el cual calcula el porcentaje de varianza justificado por las variables independientes. A medida que su valor es mayor, el ajuste de la recta a los datos es mejor, puesto que la explicación es mayor. El R^2 nos da una medida cuantitativa de qué tan bien el modelo ajustado predice a la variable independiente, y la medida usualmente se expresa en forma de porcentaje.

Ilustración 87: Regresión lineal múltiple



Los coeficientes que se obtuvieron en la correlación lineal múltiple (Ilustración 87), se multiplicaron por los valores de las respectivas bandas de la imagen RapidEye, lo que permitió realizar una operación numérica y generar una nueva banda sintética del SWIR. La similitud de esta banda sintética con la real se evaluó mediante el coeficiente de determinación R^2 , que indica el porcentaje de variación. Un valor alto de R^2 indica una mayor similitud entre la imagen sintética y la real (Baeza & Vázquez, 2014).

(iv) Composición del conjunto de datos del año 2010

El objetivo es generar una imagen multibanda que contenga las bandas (B, G, R, RE y NIR) de la imagen del 2010 del sensor RapidEye, la banda sintética SWIR generada con la correlación lineal múltiple y los índices NDVI, NDWI-Chen y NDBI. Para ello se calculó el índice espectral del NDVI, luego se aplicó la operación matemática fruto de la correlación lineal múltiple explicada anteriormente y se creó de manera artificial la banda SWIR para el año 2010, con esta banda se procedió a calcular los índices NDWI-Chen y NDBI. Es importante mencionar que al ser índices de diferencia normalizada sus valores están dentro del rango -1 hasta 1, por lo que fue necesario hacer un escalado entre 0 a 11.500 debido a que los valores de las bandas espectrales estaban entre estos rangos. Finalmente, se creó una imagen multibanda que contenía las todas bandas mencionadas (Tabla 39).

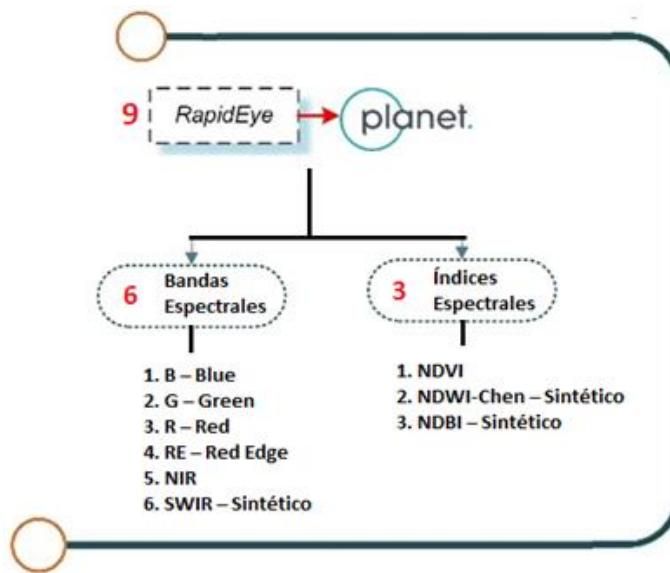
Tabla 39: Variables de clasificación para el año 2010

CANTIDAD DE VARIABLES DE CLASIFICACIÓN	
BANDAS ESPECTRALES RAPIDEYE 2010	 6
ÍNDICES ESPECTRALES RAPIDEYE 2010	3
TOTAL, VARIABLES DE CLASIFICACIÓN 2010	9

Es con base en este producto (9 variables de clasificación), que se realizó dos subconjuntos de variables de clasificación para evaluar el impacto de la adición de la banda sintética SWIR en la clasificación supervisada:

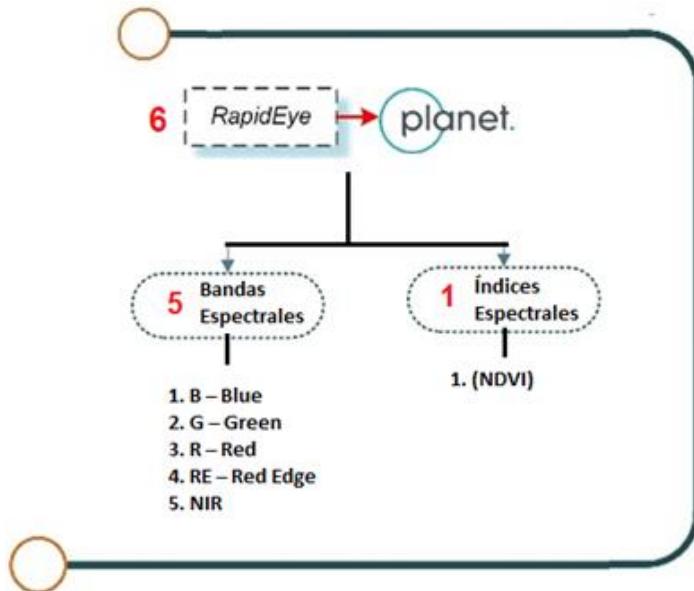
- El subconjunto 1 utiliza las 9 variables de entrada es decir el producto completo que se acaba de explicar (Tabla 39 e Ilustración 88).

Ilustración 88: Lista de bandas e índices del subconjunto 1 de las variables de entrada del clasificador (k-NN) para el año 2010



- El subconjunto 2 no tuvo en cuenta la banda sintética del SWIR ni los índices que se derivan de esta banda sintética. Es decir, solo se tuvo en cuenta las bandas espectrales propias de RapidEye y el índice NDVI dando un total de 6 variables clasificadoras (Ilustración 89).

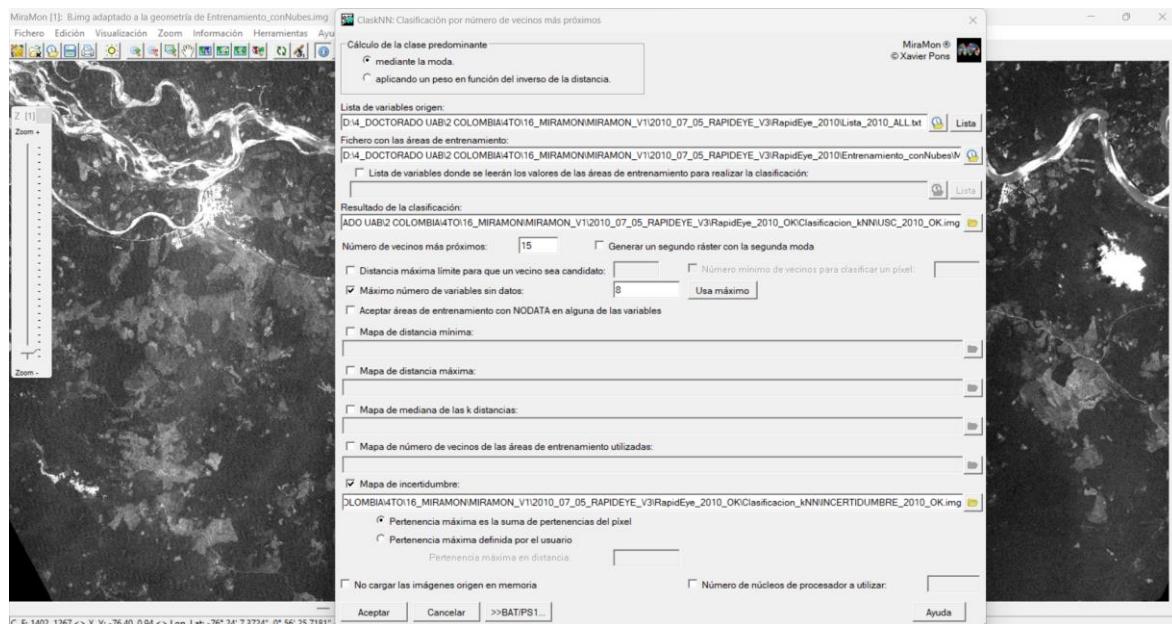
Ilustración 89: Lista de bandas e índices del subconjunto 2 de las variables de entrada del clasificador (k-NN) para el año 2010



(v) Clasificación supervisada del año 2010

Para la clasificación se utilizó la misma muestra usada en GEE para el año 2010 en este caso fueron 250 muestras para identificar 7 coberturas del suelo (Tabla 36) para cada uno de los dos subconjuntos de variables de entrada explicadas anteriormente se realizó la clasificación supervisada utilizando el algoritmo k-NN este algoritmo se ejecutó con MiraMon mediante la herramienta de clasificación de imágenes por número de vecinos más próximos (Ilustración 90).

Ilustración 90: Clasificación k-NN año 2010



(vi) Validación de la clasificación supervisada del algoritmo k-NN para los años 2020 y 2010

Para validar las clasificaciones supervisadas en MiraMon se generaron matrices de confusión a partir de la muestra de validación y los resultados de la clasificación para los años 2020 y 2010, dando como resultado los errores de omisión y comisión, el acierto global (C/A) y el coeficiente de Kappa.

- El error de omisión ocurre cuando una muestra que pertenece a una categoría específica no es clasificada correctamente en esa categoría, mientras que el error de comisión ocurre cuando una muestra es clasificada incorrectamente en una categoría que no le corresponde.
- El acierto global como se explicó en el componente de validación del apartado 4.1.1 permite cuantificar el número de píxeles correctamente clasificados.
- Si bien el coeficiente Kappa es una métrica valiosa para validar la clasificación supervisada de imágenes satelitales, es importante destacar que no considera el desequilibrio de clases. Para tener en cuente el desequilibrio entre las clases MiraMon genera durante el proceso de validación el acierto global ponderado a partir de la superficie de la capa a evaluar, así como el acierto global ponderado a partir de la superficie de las áreas Verdad-Terreno, los cuales también se tuvieron en cuenta para esta validación.

Finalmente, se generó el ráster de incertidumbre para cada año a partir del algoritmo k-NN en el que los píxeles de entrenamiento más cercanos (k-vecinos más cercanos) a cada píxel de destino (a clasificar) se identifican mediante la distancia euclídea (Vidal-Macua et al., 2017). Los valores de la incertidumbre van de 0 a 1, los que están cerca de 1 indican alta confusión entre al menos dos clases y los valores cerca de 0 representan una alta certeza para un píxel clasificado (Vidal-Macua et al., 2017).

4.1.3 Ajuste y mejora de las coberturas identificadas

Una vez se tuvieron los ráster resultantes de las clasificaciones supervisadas con los algoritmos Random Forest y k-NN se seleccionó la clasificación con mejor validación tanto para el año 2010 como para el 2020, a partir de esto:

- Se vectorizó el ráster de la clasificación de cada año, mediante las herramientas propias de vectorización de los SIG.
- Se reproyectaron al sistema de coordenadas de referencia: MAGNA-SIRGAS/Origen-Nacional, EPSG: 9377, que es el que Colombia tiene adoptado (IGAC, 2020), mediante las herramientas propias de reproyección de los SIG.
- Se ajustaron las áreas erróneamente clasificadas mediante interpretación visual ajustando aquellos polígonos que necesitan segmentación o unión.

En esta última tarea las coberturas del 2010 y del 2020 se ajustaron y reclasificaron por medio de fotointerpretación pasando de 7 coberturas a 12 (Tabla 40).

En este punto es necesario considerar la similitud espectral, y es que, hay cubiertas del suelo que son diferentes, pero tienen una respuesta espectral similar porque su firma espectral es parecida (Tardà, 2022).

Para el ajuste y mejora de las coberturas se realizó la visualización de las imágenes a través de diferentes combinaciones de bandas en Pseudocolor, con el propósito de unificar o segmentar las coberturas que lo requerían y con el uso de los geoprocessos de merge y cortar, se ajustaron los polígonos.

Tabla 40: Coberturas finales fruto de la reclasificación por medio de fotointerpretación de las clases identificadas a partir de información espectral

Clasificación Supervisada	Cobertura del Suelo Corine Land Cover adaptado para Colombia	Código Corine Land Cover adaptado para Colombia
Zonas urbanizadas	Zonas urbanizadas	1.1.
	Explotación de oro	1.3.1.4.
Pastos	Pastos limpios	2.3.1.
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2.4.3.
Bosque denso	Bosque denso	3.1.1.
	Vegetación secundaria o en transición	3.2.3.
Zonas arenosas naturales	Zonas arenosas naturales	3.3.1.
Tierras desnudas y degradadas	Tierras desnudas y degradadas	3.3.3.
	Zonas pantanosas	4.1.1.
Agua	Ríos	5.1.1.
	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	5.1.2.
	Estanques para acuicultura continental	5.1.4.3.

Uno de los principales ajustes fue la reclasificación de la cobertura de agua en 4 categorías (a. Ríos, b. Lagunas, lagos y ciénegas naturales, c. Estanques para acuicultura continental y d. Zonas pantanosas) porque espectralmente son similares por contener agua, pero su cobertura y uso del suelo son diferentes. Es importante mencionar que para el año 2010 no se encontró Estanques para acuicultura mientras que para el año 2020 si se identificaron.

En lo referente a la cobertura de Explotación de oro, esta fue generada a partir de fotointerpretación porque es producto de minería ilegal que se desarrolla en el área de estudio. Para delimitar esta cobertura se identificó superficies en la cual las clases de agua, zonas arenosas y tierra desnuda estaban continuas y no tenían conexión con ríos, al ser una actividad ilegal el contraste con las coberturas naturales es significativo lo cual facilita su identificación y delimitación.

La cobertura de vegetación secundaria se asignó a aquellas superficies que en el año 2010 no tenían cobertura de bosque, pero en el año 2020 ya se identificaban con cobertura de bosque. Es importante hacer esta diferenciación porque el hecho de que en el año 2020 se identifique espectralmente como bosque no significa que ya esté dentro de esta categoría, debido a que su vegetación primaria fue destruida y en este momento se encuentra en un estado de recuperación, presentando especies de rápido crecimiento más no especies propias del bosque denso.

En la Tabla 41 se encuentra el listado final de coberturas identificadas en 2010 y 2020. Finalmente, se genera las tablas de frecuencia de coberturas para cada año indicando la superficie y el porcentaje de ocupación con relación al área total de estudio.

Tabla 41: Listado final de coberturas identificadas en 2010 y 2020

ID	CÓDIGO	COBERTURAS
01	1.1.	Zonas urbanizadas
02	1.3.1.4.	Explotación de oro
03	2.3.1.	Pastos limpios
04	2.4.3.	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
05	3.1.1.	Bosque denso
06	3.2.3.	Vegetación secundaria o en transición
07	3.3.1.	Zonas arenosas naturales
08	3.3.3.	Tierras desnudas y degradadas
09	4.1.1.	Zonas pantanosas
10	5.1.1.	Ríos
11	5.1.2.	Lagunas, lagos y ciénagas naturales
12	5.1.4.3.	Estanques para acuicultura continental

4.1.4 Análisis multitemporal de cambio de coberturas

Para realizar el análisis multitemporal de cambio de coberturas se procedió a adaptar las categorías de cambio de coberturas del estudio *Análisis de dinámicas de cambio de las coberturas del suelo en Colombia* (IDEAM, 2013) para el periodo y área de estudio. En este estudio, se establece la construcción de una matriz para la definición de los cambios ocurridos en la cobertura del suelo entre dos periodos determinados, donde los cambios de la cobertura del suelo se agrupan y se clasifican de acuerdo con los principales procesos de uso del suelo.

Tabla 42: Cambio en la cobertura del área de estudio años 2010 a 2020

Tipo de Cambio	Descripción
Sin cambio	Áreas donde se presenta el mismo código de cobertura a nivel 3 tanto en la cartografía del periodo 2010 como la cartografía del periodo 2020, por lo tanto, son las áreas que no tuvieron un cambio en las coberturas en esos periodos.
Recuperación del bosque	En este indicador se incluyen las áreas que no eran bosque en la cartografía del periodo 2010 y que en el periodo 2020 aparecen como cualquier tipo de bosque. Se incluye también en este indicador los bosques fragmentados del periodo 2010 que se hayan recuperado y, por lo tanto, se registren como bosques densos o bosques de galería en la cartografía del periodo 2020.
Ganancia de pastos	Son áreas ganadas de cualquier tipo de pasto que no existían en la cartografía y que están presentes en la cartografía 2020.
Urbanización	Se incluyen en este indicador las áreas de territorios artificializados presentes en la cartografía del periodo 2020 y que no existían en el periodo de 2010, separando las zonas mineras que son contempladas en otro indicador.
Expansión de la agricultura	Con este indicador se pretende identificar las áreas ganadas en cultivos provenientes de zonas que en la cartografía del periodo 2010 estaban ocupadas por algún tipo de pasto o cobertura natural.
Dinámica de cuerpos de agua	En este indicador se representan los cambios que hayan tenido los cuerpos de agua en los dos periodos de tiempo analizados.
Desintensificación de la agricultura	Se considera en este indicador las áreas que en la cartografía del periodo 2010 presentaban algún tipo de cultivo o pastizal ya sea puro o en mosaico, y que en la cartografía del periodo 2020 haya cambiado a algún tipo de cobertura natural o a algún tipo de mosaico con presencia de espacios naturales.
Aumento de la minería	Dada la importancia del tema minero para el país en este momento, se incluyó un indicador que permite identificar de qué tipo de coberturas provienen las áreas mineras presentes en la cartografía del periodo 2020, aclarando que estas áreas tienen la limitante de la escala de la información (1:25.000).
Degradación de tierras	El indicador se utiliza para reconocer las áreas que en la cartografía del periodo 2020 se presentan como afloramientos rocosos o tierras degradadas, pero que en la cartografía del periodo 2010 estas áreas presentaban algún tipo de cobertura vegetal ya sea natural o antrópica.
Otros cambios	Este indicador recoge los cambios que no son considerados en el análisis multitemporal. Estos incluyen tanto los cambios no lógicos que se presentaron, como los cambios que, aun siendo lógicos, no se consideraron relevantes para analizar.

Fuente: adaptado a partir de IDEAM, 2013

En este caso, se definieron una serie de categorías donde se reunieron los procesos más relevantes en cuanto al cambio de coberturas del suelo a nivel nacional. De esta forma se definieron categorías como: fragmentación del bosque, recuperación del bosque, ganancia de pastos, urbanización, intensificación de la agricultura, expansión de la agricultura, desintensificación de la agricultura, dinámica de cuerpos de agua, aumento de la minería, reforestación y degradación de tierras (Tabla 42).

Una vez establecidas las categorías de cambio de coberturas para el periodo y área de estudio, se realizó el cruce de las dos capas de coberturas del suelo (2010 - 2020) por medio de la operación de análisis espacial denominada intersección, la cual combina la geometría de ambas capas de origen y reúne los atributos de cada una de las mismas en una nueva capa geográfica.

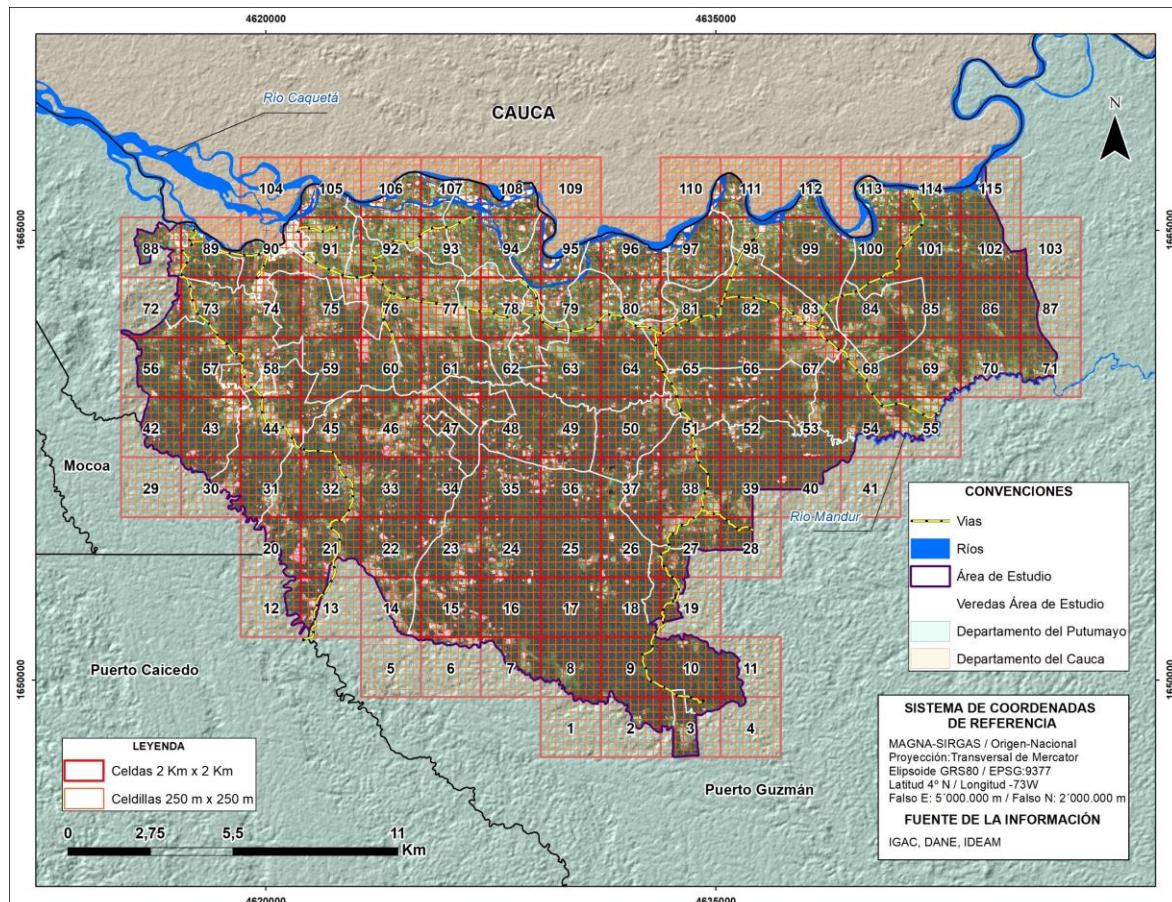
La capa resultante del proceso de intersección cuenta con los códigos de coberturas de ambos periodos, por lo tanto, se identificaron todas las combinaciones posibles entre estos dos códigos de coberturas, lo que permite generar de esta manera la matriz de cambio de coberturas en donde las filas son las coberturas del año 2010 y las columnas son las coberturas del año 2020. La combinación de cada una de estas opciones se le asignó el identificador resultante de las categorías de cambios de coberturas. Por ejemplo, a los polígonos que presenten bosque denso en el periodo 2010, y pasto limpio en el periodo 2020, se le asignó la categoría de ganancia de pastos. Esto mismo se hizo para todas las combinaciones posibles.

4.1.5 Aplicación de la metodología de Steenmans & Pinborg (2000) en el análisis de la fragmentación

Para realizar el análisis de fragmentación se tuvo en cuenta la *Guía técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia* (Pineda et al., 2014), en el cual adoptan la metodología de Steenmans & Pinborg, 2000 para el análisis de fragmentación. El índice de fragmentación antropogénica elaborado por Steenmans & Pinborg (2000), pretende ser un indicador que ayude a entender la complejidad del paisaje, expresando la conectividad de áreas potencialmente interesantes para su conservación, sobre todo, de aquellas que se encuentran muy presionadas por las actividades humanas (urbanización, industria o agricultura) o por la presencia de grandes ejes de comunicación terrestre (Triviño et al., 2007). La fragmentación se contrastará con lo reportado en información secundaria respecto a cultivos ilícitos e incendios forestales.

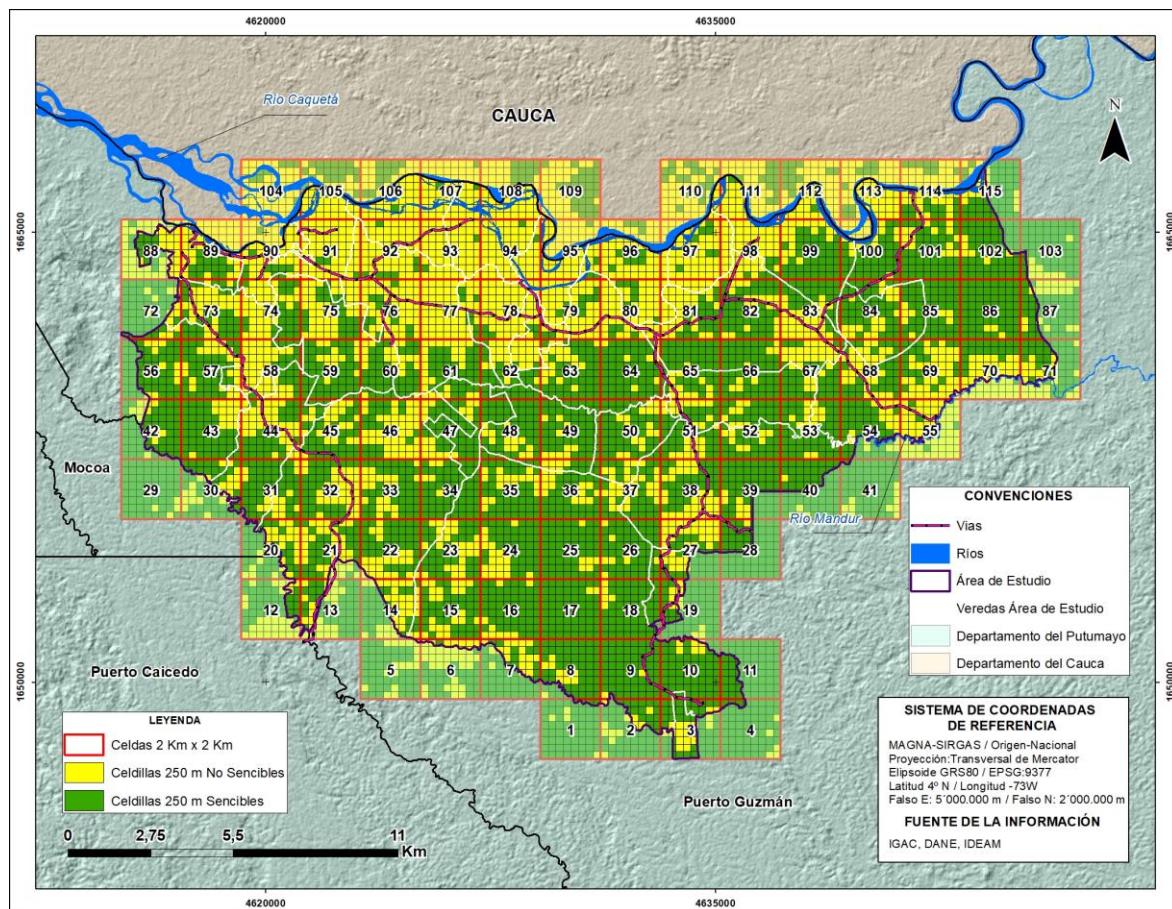
El presente análisis, al ser a nivel local, se generaron celdas de 2 km x 2 km y celdillas de 250 m x 250 m para el área de estudio (Ilustración 91).

Ilustración 91: Celdas y celdillas



A partir de las coberturas generadas anteriormente, estas se reclasifican en dos categorías: 1. Sensibles, correspondientes con los espacios naturales y seminaturales; y 2. No sensibles (Ilustración 92), es decir, los espacios que aglutinan las actividades humanas, en consecuencia, donde se concentran los impactos y son fuente de presiones sobre el medio natural. En esta última categoría también se han incluido las superficies de agua que, aunque realmente tienen un carácter neutral, no pueden ser consideradas como espacios sensibles al albergar comunidades vegetales y animales que no están vinculadas al medio terrestre, pero que sin duda afectan a la continuidad geográfica de los hábitats. Una vez reclasificadas las coberturas mediante las herramientas propias de reclasificación de los SIG, estas se combinaron con las celdillas de 250m por 250m (Triviño et al., 2007).

Ilustración 92: Celdas sensibles en contraste no sensibles



Con esta información preparada para cada año, se aplica la fórmula del índice de fragmentación de Steenmans & Pinborg (2000) para cada celda de 2 km por 2 km:

$$IF = \frac{PSC}{\frac{(PS)}{CS} * \frac{PS}{16}}$$

Donde:

IF = índice de fragmentación

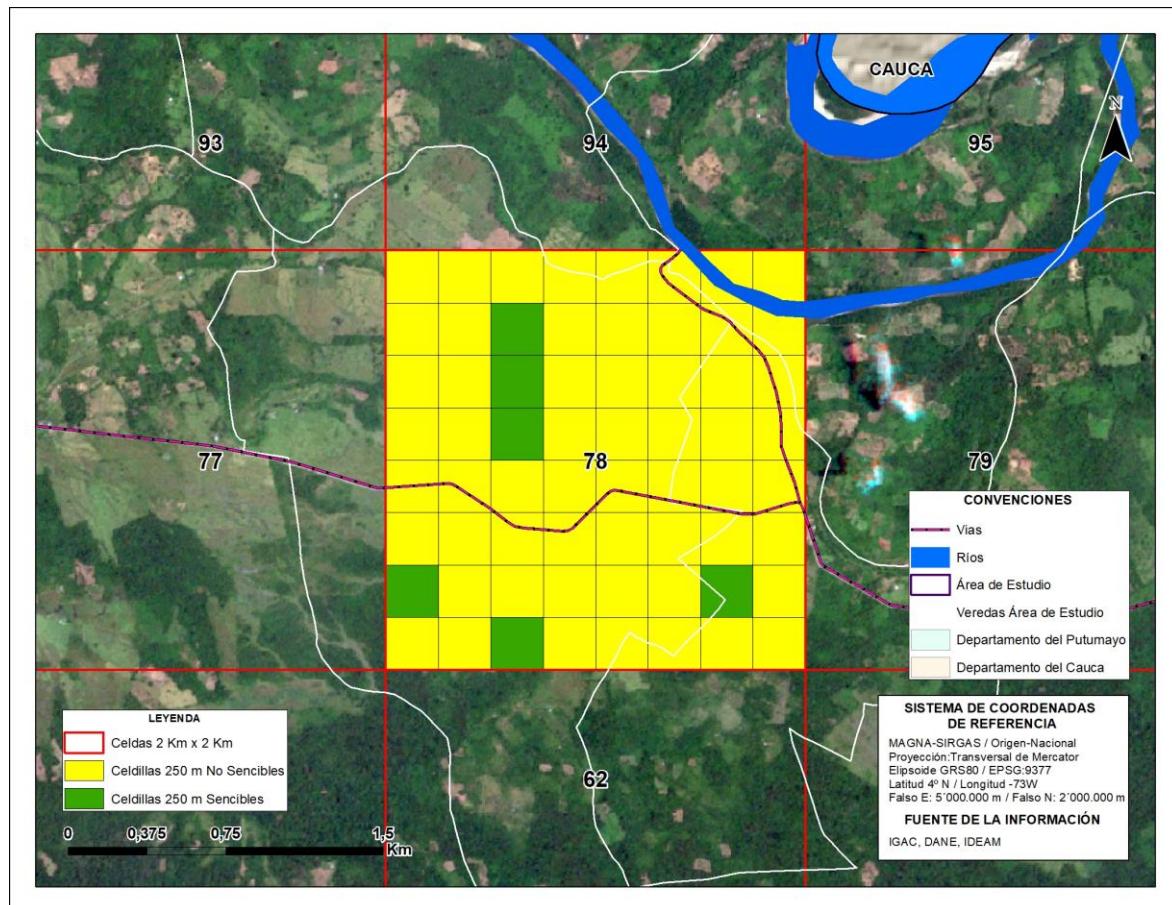
PSC = celdillas sensibles conectadas

PS = celdillas sensibles

CS = complejos

Se tiene en cuenta que dos celdillas están conectadas cuando comparten un lado y no cuando comparten un vértice (Triviño et al., 2007), por ejemplo, para la celda 78 la cual se muestra en la Ilustración 93 sus valores son: PSC = 6, PS = 9, CS = 4.

Ilustración 93: Celdillas de 250 m sensible en contraste no sensible de la celda 78



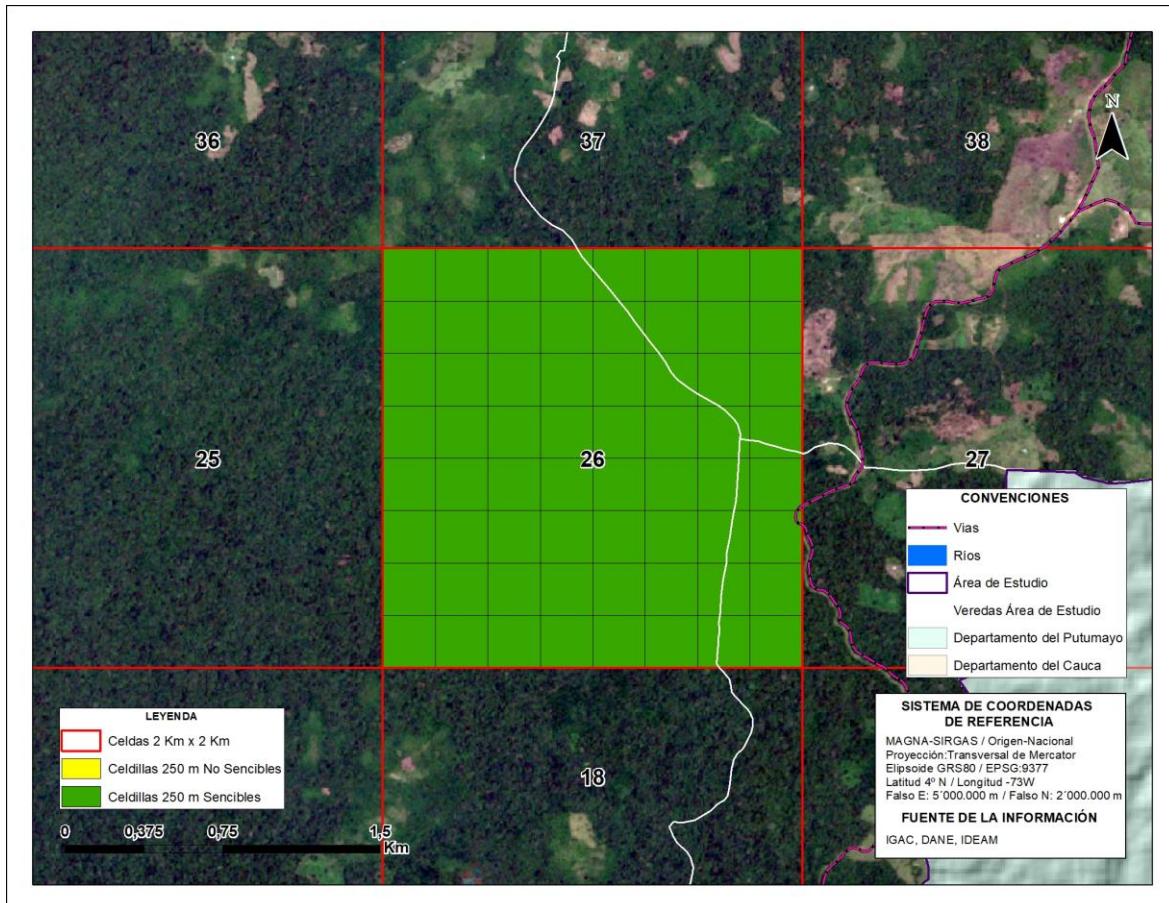
La Tabla 43 muestra las categorías establecidas para la interpretación del índice de fragmentación:

Tabla 43: Categorías del índice de fragmentación

Categoría Índice de Fragmentación	Rango
Mínima	IF < 0,01
Poca	IF 0,01 – 0,1
Regular	IF 0,1 – 1
Moderada	IF 1 – 10
Fuerte	IF 10 – 100
Extrema	IF >100

Para asignar a cada celda la categoría correspondiente del índice de fragmentación, es crucial que la fórmula esté normalizada y que los valores resultantes se encuentren escalados dentro de los rangos predefinidos. Por ejemplo, la Ilustración 94 muestra la celda 26 cuyos valores son: PSC = 64, PS = 64, CS = 1.

Ilustración 94: Celda 26



$$IF = \frac{64}{\frac{(64)}{16} * \frac{64}{16}} = 4$$

El rango en el que se encuentra el resultado (1 – 10) corresponde a una fragmentación “Fuerte”, lo cual no concuerda con la realidad, pues se supuso inicialmente que no existe fragmentación en esta celda (Corredor, 2019).

Los resultados poco coherentes observados en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) tienen entonces su explicación en parte por una omisión en la *Guía técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia*, al no mencionar que debe usarse la fórmula normalizada (Corredor, 2019).

Por ejemplo, para usar los intervalos propuestos por Steenmans & Pinborg (2000), se debe tener en cuenta el valor máximo y mínimo que puede alcanzar el índice en cada caso

concreto. Triviño et al. (2007), proponen la normalización del índice de fragmentación para que todas las series de datos, independientemente del factor de escala, se ajusten perfectamente a un mismo rango de valores. Los valores máximos (M) y mínimos (m) se calculan con las siguientes ecuaciones Triviño et al. (2007), citado en Corredor (2019):

$$M = \frac{N_{km}^2}{2}; m = \frac{N_{km}^2}{N_{Total}}$$

Donde:

M = valores máximos

m = valores mínimos

N_{km} = número de celdillas por km²

N_{Total} = número de celdillas por la celda de cálculo

En nuestro estudio el número de celdillas por km² es 16 debido a que son celdillas de 250 m por 250 m. Y el número de celdillas por la celda de cálculo son 64 porque se está trabajando con celdas de 2 km por 2 km.

$$M = \frac{16^2}{2} = 128; \quad m = \frac{16^2}{64} = 4$$

Para la normalización del índice de fragmentación se ha optado por realizar un escalado de los valores en un rango de 0 a 100. El índice de fragmentación normalizado (IFn) queda de la siguiente manera Triviño et al. (2007), citado en Corredor (2019):

$$IFn = \frac{(IF - m) * 100}{(M - m)}$$

Donde:

IFn = índice de fragmentación normalizado

M = valores máximos

m = valores mínimos

Por lo tanto, basándose en el ejemplo puesto anteriormente, el IFn se aplica para cada una de las celdas del área de estudio para los años 2010 y 2020.

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS CAUSAS Y LOS AGENTES DEL CAMBIO DE COBERTURA FORESTAL

La caracterización de las causas y los agentes del cambio de cobertura forestal tiene tres fases: 1) la revisión de fuentes secundarias del contexto histórico del municipio de Puerto Guzmán sobre aspectos sociodemográficos, socioeconómicos, deforestación y conflicto armado, que fueron abordados en el capítulo de área de estudio; 2) la identificación de las percepciones sobre la deforestación a partir de fuentes orales (entrevistas), y 3) la aplicación de la metodología de caracterización de causas y agentes de la transformación del bosque a partir de las encuestas sugeridas del manual del IDEAM: *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la caracterización de causas y agentes de la deforestación en Colombia* (González et al., 2018a). A continuación, se inicia la explicación de cómo se seleccionó la muestra y, posteriormente, se explica el proceso para la identificación de las causas y los agentes del cambio de cobertura forestal a partir de entrevistas y encuestas.

4.2.1 Selección de la muestra y procedimiento de muestreo

La selección de la muestra y procedimiento de muestreo se aborda en cuatro etapas: i) paradigma de la investigación, ii) técnica de muestreo (metodología Bola de Nieve), iii) tamaño de la muestra y la población a muestrear y iv) técnicas e instrumentos de recolección de datos.

(i) Paradigma de investigación

Para caracterizar los agentes de la deforestación se buscó indagar sobre los factores que no han permitido que las diferentes propuestas sean efectivas al momento de frenar la deforestación. Para lograrlo, se decidió implementar una de las metodologías del enfoque cualitativo, el cual es definido por Patton (1980), como la descripción detallada de fenómenos que permite la recopilación de datos a partir de las perspectivas de los participantes. Adicionalmente, Hernández Sampieri (2001) define la investigación cualitativa como el proceso donde la relación de los participantes es de vital importancia, puesto que esta tiene como objetivo recoger la mayor cantidad de experiencias e ideologías. Este tipo de enfoque tiene como característica principal la recolección de datos no estandarizados, es decir, no se hace de manera numérica, así que el análisis no es estadístico.

“La recolección de los datos consiste en obtener las perspectivas y puntos de vista de los participantes, (sus emociones, experiencias, significados y otros aspectos subjetivos). También resultan de interés las interacciones entre individuos, grupos y colectividades. El investigador pregunta cuestiones generales y abiertas, recaba datos expresados a través del lenguaje escrito, verbal y no verbal, así como visual, los cuales describe y analiza y los convierte en temas”. (Todd et al., 2004, p. 15).

La colección de información primaria implementa técnicas de recolección que permite afinar la caracterización de los diferentes actores de un proceso social, que es en este caso el de cambio de coberturas. Aunque existen diversos estudios que describen en profundidad los agentes de la deforestación, como los mencionados en numerales anteriores, son estudios de carácter exploratorio, y es recomendable realizar ejercicios a un nivel más detallado porque no se han tenido resultados exitosos al aplicar políticas transversales y esto se puede deber a diferencias entre las comunidades objeto de estas iniciativas.

La comunidad objeto de este estudio se caracteriza por: ser de origen mestizo, debido a la cercanía de las reservas indígenas; ser migrantes de otros departamentos, que llegan debido a la demanda de mano de obra para los cultivos presentes en la zona, ya sean lícitos o ilícitos; o ser familias que han perdido miembros debido al conflicto armado. Aunque estos aspectos son comunes a los habitantes de diferentes ubicaciones de la geografía colombiana, los aprendizajes derivados de su crianza, sus creencias, el manejo que le dan a la cobertura, es decir, las prácticas tradicionales inherentes a su entorno, los diferencian hondamente, siendo preciso puntualizar la información social para aterrizar acertadamente las propuestas enfocadas al mantenimiento de la cobertura boscosa.

Un aspecto limitante para caracterizar los agentes que habitan los bosques en la zona de estudio, es la presencia de grupos al margen de la ley, que controlan el acceso al área e incluso los datos que pueden brindar al momento de ser encuestados o entrevistados. Esto limita la aplicación de técnicas de muestreo al azar, porque solo se logró obtener autorización de ingreso a ciertos sectores. No obstante, la información levantada es vital, por ser colectada de primera mano en un hotspot.

(ii) Técnica de muestreo: metodología Bola de Nieve

La imposibilidad de realizar muestreos probabilísticos es el condicionante operativo más importante en el estudio de muchas poblaciones de interés de difícil abordaje (desconocimiento de la población, sensibilidad en la temática, dispersión geográfica). En

en este contexto, la aplicación de metodología cuantitativa requiere de un tamaño muestral adecuado que permita garantizar la representatividad o generalización de los resultados, mientras que, en el caso de la metodología cualitativa, el análisis se centra en el estudio en profundidad de pequeños grupos, priorizando la riqueza de información. En el caso de los estudios acerca de poblaciones de difícil acceso (hard to reach), el investigador se enfrenta a tener que garantizar que las unidades de observación seleccionadas para el trabajo cualitativo sean representativas de la población (Baltar & Gorjup, 2012).

La selección de la técnica de bola de nieve obedece, a su utilidad para caracterizar poblaciones de las cuales se desconocen datos previos y, que, por su singularidad, se puedan considerar de un grupo específico. No obstante, es necesario definir qué categoría de población es y los motivos por los cuales se han catalogado de esta manera (Alloatti, 2014). Aterrizando lo anterior, es apropiado revisar el concepto de agente de la deforestación:

Personas, grupos sociales o instituciones (públicas o privadas) que, influenciadas o motivadas por una serie de factores o causas subyacentes, toman la decisión de convertir los bosques naturales hacia otras coberturas y usos, y cuyas acciones se ven manifestadas en el territorio a través de una o más causas directas (González et al., 2011).

En esta técnica, se sugiere no subestimar el lazo social, más en entornos rurales donde las familias pueden estar distribuidas en áreas geográficamente extensas, y pueden identificarse fácilmente bajo el concepto de “otro como yo” (Alloatti, 2014, p. 8). Para subsanar esto, un tercero que conozca los diferentes grupos del territorio y que facilite un primer acercamiento, antes del desarrollo de la técnica, favorece la disminución de este sesgo, al conocer quiénes son familia y quienes no.

(iii) Tamaño de la muestra y la población a muestrear

En el muestreo probabilístico, el tamaño de la muestra suele calcularse en función de la heterogeneidad de la distribución de la variable que se estudia en la población, y los niveles de confianza y de precisión deseados (Raj, 1980; Kish, 1995, citados en Martínez, 2012). La elección propositiva, en cambio, no parte de un número determinado de forma previa. Como lo señala Patton (2002), en este campo no hay reglas para decidir el tamaño de la muestra y, si hubiera que enunciar alguna, esta sería: “todo depende”. Depende del propósito del estudio, de lo que resulta útil para lograrlo, de lo que está en juego, de lo que lo hace verosímil, y en última instancia, incluso de lo que es posible (Martínez, 2012).

Así, para poder juzgar si una muestra es adecuada hay que conocer el contexto del estudio. Como lo subrayan los expertos en esta modalidad de indagación, lo decisivo aquí no es el tamaño de la muestra, sino la riqueza de los datos provistos por los participantes, y las habilidades de observación y análisis del investigador (Marshall, 1996; Patton, 2002; Crouch & McKenzie, 2006). La lógica que orienta este tipo de muestreo – y lo que determina su potencia – reside en lograr que los casos elegidos proporcionen la mayor riqueza de información posible para estudiar en profundidad la pregunta de investigación.

“El interés fundamental no es aquí la medición, sino la comprensión de los fenómenos y los procesos sociales en toda su complejidad. Muchas de las preguntas que se plantean giran en torno al significado que estos tienen para los sujetos que los protagonizan”. (Martínez, 2012, p. 615).

Ahora bien, ¿hasta cuándo entrevistar o encuestar? Hasta que ocurra la saturación, es decir, cuando ya el entrevistador sienta que se han abarcado la mayor cantidad de ideas y no aparezcan nuevas, o bien, cuando el investigador haya abarcado representantes de los diferentes grupos de interés. Para el presente estudio, el interés de conocer la percepción de los diferentes actores del proceso de deforestación era prioritario, para ello, era necesario definir grupos según singularidades.

En esta investigación, la población está conformada por los habitantes del área de interés, en este caso Puerto Guzmán, y la muestra se constituye por los pobladores del área piloto, de las veredas que se encuentran en el frente de deforestación. Debido al enfoque cualitativo de la investigación, la muestra fue analizada bajo el criterio de dos grupos: habitantes y agentes de decisiones.

(iv) Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Dentro del proceso de investigación, la definición de las técnicas para la recolección de información es uno de los primeros pasos dentro del desarrollo del proyecto, porque serán las que le darán una estructura y organización a una etapa crucial como es el trabajo de campo. Los métodos de recopilación de datos son técnicas que se utilizan para recopilar datos de investigación empírica. Así es como los investigadores “obtienen” su información. Los seis métodos principales de recopilación de datos son cuestionarios, entrevistas, grupos focales, pruebas, observación y datos secundarios (Johnson & Turner, 2003).

Otros autores plantean que las técnicas más utilizadas actualmente en la investigación cualitativa para recolectar la información son principalmente: la observación (directa, participante), la entrevista cualitativa (estructurada o no estructurada), la investigación no

intrusiva (incluye el estudio de documentos), las entrevistas, las historias de vida, la observación etnográfica, el testimonio focalizado, etc. (Martínez, 2011). Dentro de esta investigación se utilizaron como instrumentos entrevistas y encuestas por “la posibilidad que ofrecen para obtener percepciones y testimonios de las personas involucradas” (González, 2016, p. 31) en los procesos de deforestación.

Las encuestas son una estrategia de investigación basada en las declaraciones verbales de una población concreta, a la que se realiza una consulta para conocer determinadas circunstancias, o el estado de opinión sobre un tema en particular (Hechavarría, 2012). Puntualizando más en esta técnica, es importante que antes de aplicar una encuesta se considere que los encuestadores y los encuestados compartirán supuestos comunes sobre el significado y estructura de los protocolos y de los ítems del instrumento, porque las preguntas deben tener sentido para los que van a responder y así facilitar la aparición de los datos buscados a los que las trabajen (Goetz & LeCompte, 1984). Las encuestas tienen desventajas, y es que la información que facilitan los interesados no siempre es un indicador fiel de sus comportamientos reales, y por ello, se debe corroborar con datos observacionales.

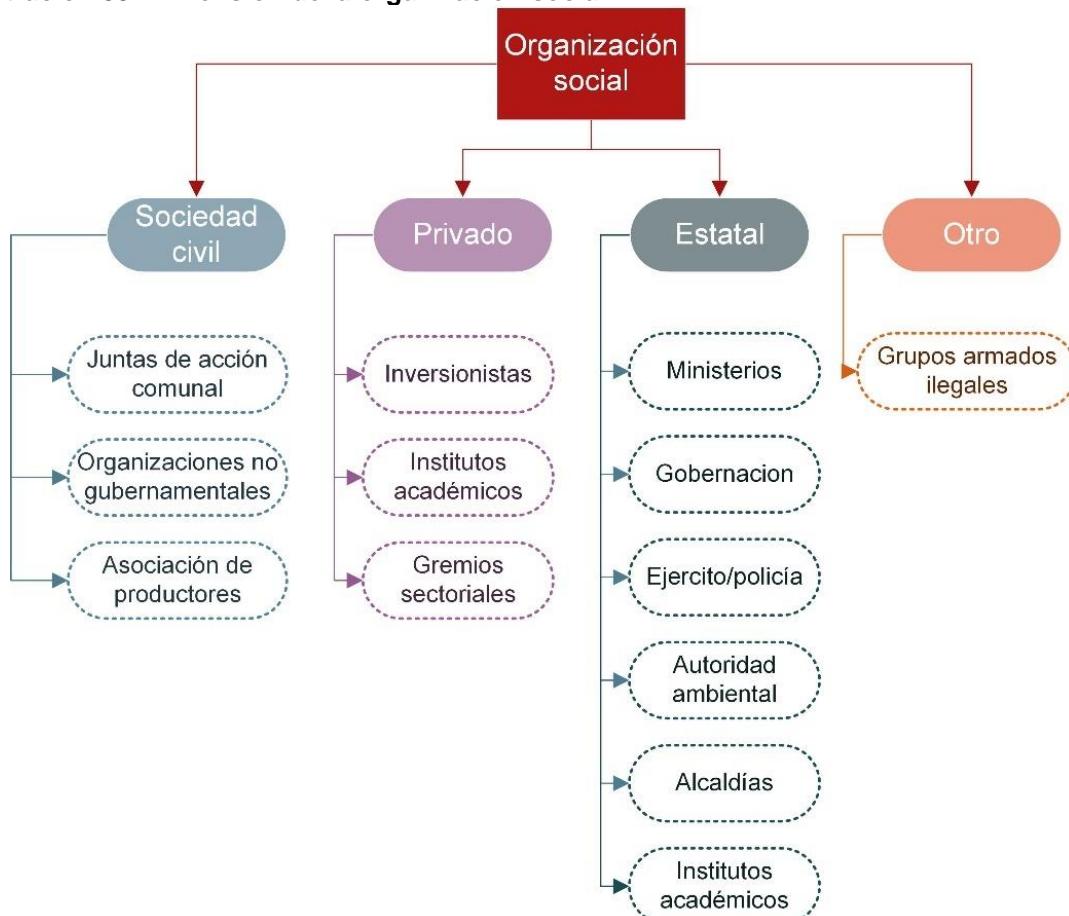
La entrevista, se aplicó para comprender y explicar la situación y el entorno de la población, esto fue de gran importancia debido a que en primera instancia se debían entender los detalles y las características que rodean el fenómeno de estudio. Este instrumento fue seleccionado para indagar sobre los factores que no han permitido que las diferentes propuestas sean efectivas al momento de frenar la deforestación. La entrevista semiestructurada es una herramienta que permite un contacto directo entre investigador y sujeto para conocer uno o varios temas concretos. Se toma como base una serie de preguntas y dependiendo de las respuestas dadas se puede profundizar en los temas claves para la investigación (González, 2016). Para Rodríguez (2011), “el marco de realización de este tipo de entrevistas debe ser abierto y en un ambiente de cordialidad, para ello debe existir la relación de empatía con el informante”. Goetz & LeCompte (1984), sugieren buscar y seguir las directrices que sean consistentes con los fines y diseño del proyecto de investigación que se esté llevando a cabo.

Por último, se utilizó una técnica complementaria y transversal a las anteriores, el análisis documental a partir de información primaria y secundaria. La primaria se compuso de cuestionarios, observaciones y entrevistas, y la información secundaria fue colectada a partir de manuales, libros digitales o físicos, revistas, entre otros. Según González (2016), el análisis documental es un conjunto de operaciones encaminadas a la organización y presentación de la información recogida en un documento final para que el público tenga

acceso a él y puntualiza que el análisis documental es: “un proceso ideado por el individuo como medio para organizar y representar el conocimiento registrado en los documentos, cuyo índice de producción excede sus posibilidades de lectura y captura” (p. 41).

En el momento de diseñar los instrumentos de recolección se procuró recolectar información no solo sociodemográfica y socioeconómica, importante de por sí, sino también de aquellos elementos que condicionan la motivación respecto a la intervención a las coberturas boscosas y que categoriza a un poblador como un potencial agente. Un agente de la deforestación se define por tres elementos: organización social, intereses económicos y visión del bosque. La organización social (Ilustración 95) es el primer elemento que define la lógica de la intervención del bosque, y es importante identificar cuáles son predominantes en el área de interés, porque determina el método de abordaje. Por lo general será más sencillo dialogar con una organización que con un individuo, por las reglas inherentes a estas (incluso con las ilegales).

Ilustración 95: Dimensión de la organización social

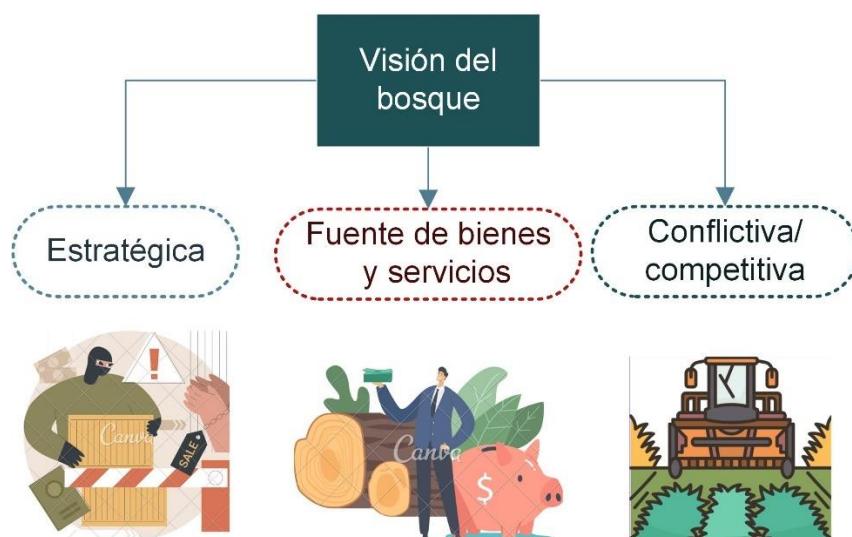


Fuente: adaptado a partir de IDEAM, 2018

Cabe resaltar, que la caracterización propuesta, buscó indagar sobre los factores que no han permitido que las diferentes propuestas sean efectivas al momento de frenar la deforestación. Por ende, se procuró indagar a diferentes actores (pobladores, ONGs, instituciones, gremios, entidades estatales, a excepción de grupos ilegales) a qué atribuían la débil respuesta de las propuestas que se llevan al territorio y provienen del gobierno.

Una vez se definieron los actores a los que se les debían aplicar los instrumentos de recolección de la información, se priorizó conocer la visión del bosque de los agentes que hacen un uso directo del recurso, debido a que, conociendo su percepción sobre los bosques naturales, se pueden entender las diversas formas de intervención del bosque (Ilustración 96).

Ilustración 96: Visión del bosque de los agentes de la deforestación

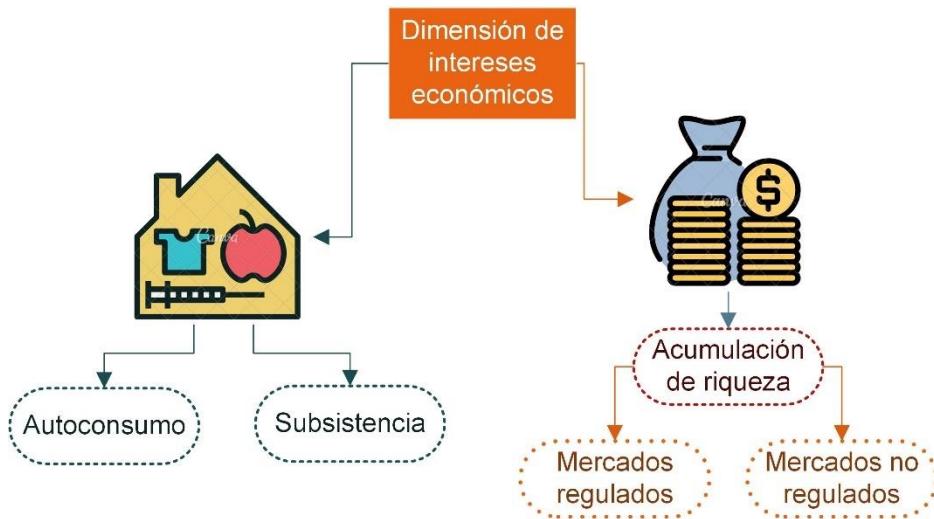


Fuente: adaptado a partir de IDEAM, 2018

Fuente imagen: Canva, 2023

Otro aspecto fundamental al momento de caracterizar a los agentes fue entender sus intereses económicos, que pueden ir, desde la satisfacción de necesidades básicas insatisfechas hasta la acumulación de riqueza en mercados no regulados donde participan agentes lícitos, dificultando su control. Un ejemplo de ellos es la poterización para apropiación de baldíos (Ilustración 97).

Ilustración 97: Dimensión económica



Fuente: adaptado a partir de IDEAM, 2018

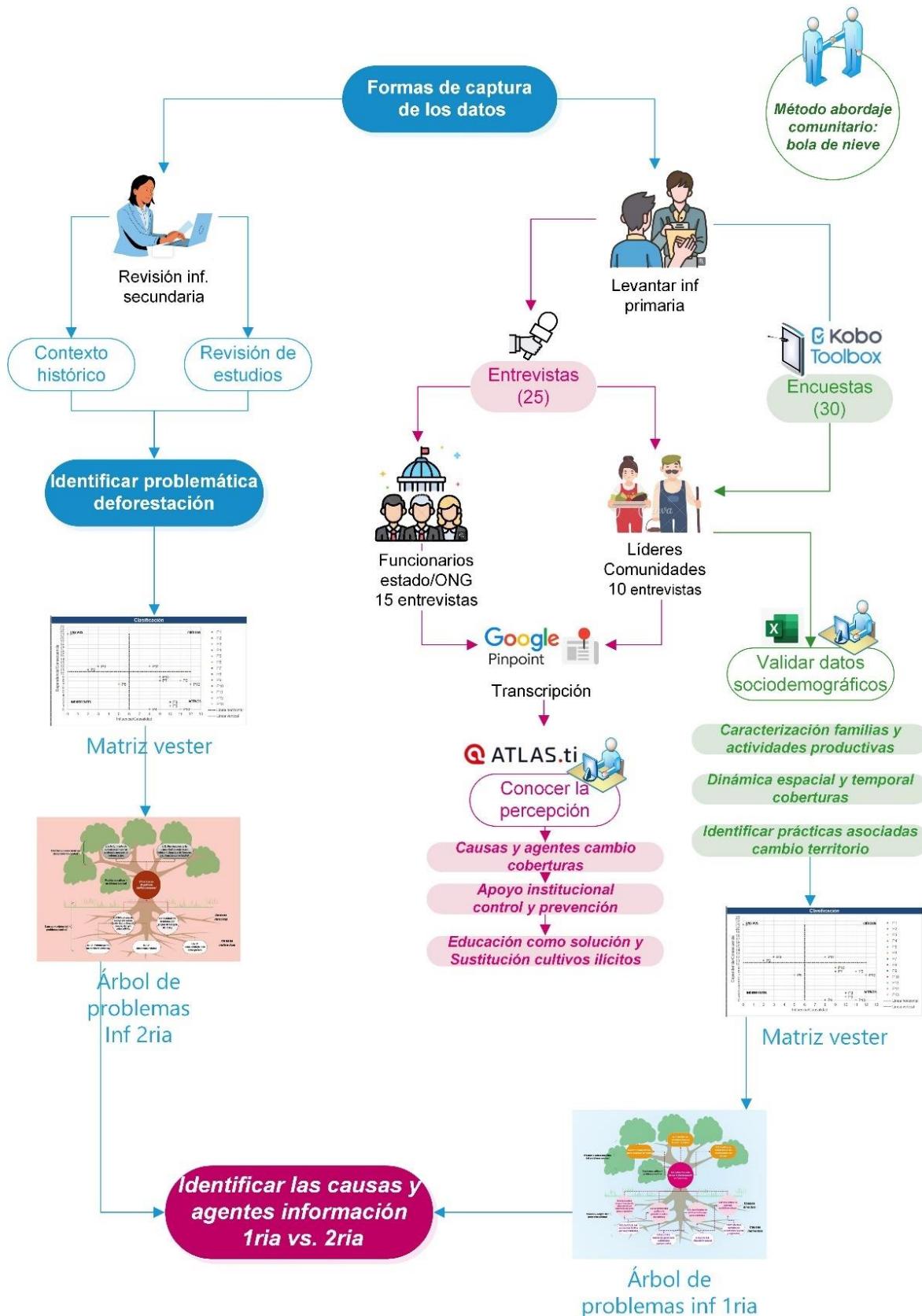
Fuente imagen: Canva, 2023

4.2.2 Identificación de las causas y los agentes del cambio de cobertura forestal

Para identificar las causas y agentes del cambio de cobertura forestal, primero se realizó la priorización de las áreas con alertas de deforestación. Una vez identificadas las que reunían mayor cambio de cobertura del suelo, se aplicaron los instrumentos de recolección de datos, con base en los lineamientos conceptuales y metodológicos para la caracterización de causas y agentes de la deforestación en Colombia (González et al., 2018a). La metodología para determinar la causalidad incluyó encuestas y entrevistas semiestructuradas.

La Ilustración 98 presenta de manera detallada el enfoque metodológico utilizado en la identificación de las causas y agentes de la deforestación. En este contexto, se explica el proceso de obtención de información primaria y secundaria. En primer lugar, se inicia con la revisión exhaustiva de la información secundaria relacionada con el área de estudio, abordando su contexto histórico, aspectos biofísicos, datos demográficos, actividades económicas relevantes y el conflicto armado. Posteriormente, se procede a la recopilación de datos primarios a través de entrevistas y encuestas. Las entrevistas se llevaron a cabo mediante grabaciones de video, las cuales fueron posteriormente transcritas a texto utilizando la herramienta Pinpoint de Journalist Studio de Google. Por otro lado, para la realización de las encuestas se empleó la herramienta KoboToolbox que permite recopilar datos en dispositivos móviles. En la misma ilustración se muestran los programas usados para el análisis de los datos recolectados.

Ilustración 98: Esquema metodología de la causalidad



La encuesta se enfocó en corroborar una serie de datos a una escala más detallada de la existente (escala regional), es decir, conocer la composición de los hogares, lo que cultivan, el proceso de cambio de coberturas del área de estudio, etc. (Anexo 13: Lista de preguntas de la encuesta). Para las encuestas a la comunidad, que se hicieron un total de 30, se cobijaron a familias de diferentes grupos étnicos que viven en el área de estudio, para tener representatividad de todos los grupos al momento de caracterizar a los habitantes. Respecto a las entrevistas, se realizaron un total de 25 entrevistas semiestructuradas (Anexo 15: Guion de la entrevista). Estas fueron enfocadas al relato de la percepción de los entrevistados y colectar información a partir del conocimiento fruto de la experiencia sobre la efectividad de los esfuerzos para combatir la deforestación. Se buscó diversidad de los entrevistados, es decir, no solo los beneficiarios de los proyectos enfocados a contrarrestar la deforestación, sino también los agentes que intervienen directamente en la toma de las decisiones. Cuando se entrevistó a funcionarios, se procuró realizar las entrevistas en función del cargo. Del resultado de las entrevistas se generaron redes semánticas mediante el uso de Atlas.TI, que es una herramienta de análisis cualitativo que permiten conectar las concepciones y alternativas de solución de la deforestación por categorías.

La metodología de abordaje comunitario empleada, tanto para las entrevistas como para las encuestas fue la denominada “bola de nieve”. Para lograr el acceso al área de estudio, se estableció un primer contacto con una psicóloga que nació, creció y trabaja en la zona rural del municipio de Puerto Guzmán. Este contacto fue clave para poder ingresar a la zona, hacer los recorridos y que la gente respondiera las encuestas (Ilustración 99).

A través de la psicóloga se contactaron líderes de sectores claves del territorio (profesores rurales, presidentes de juntas de acción comunal, líderes de las veredas, etc.). Estos líderes de la comunidad fueron los primeros encuestados y, posteriormente, actuaron como intermediarios para contactar a nuevas personas. Se procuró que los encuestados estuvieran distribuidos en toda el área de estudio y que hubiera equidad de género.

Ilustración 99: Accediendo a la zona de estudio con la psicóloga



(i) Entrevistas

Uno de los objetivos de esta investigación consiste en analizar las concepciones y comprensiones acerca de las causas y las medidas de control del proceso de deforestación. Este análisis se llevó a cabo a través de la percepción de los diferentes actores que desempeñan un papel directo en los procesos de cambio de cobertura.

La muestra fue seleccionada considerando criterios de género, etnia, ocupación y ubicación geográfica. Se realizaron 25 entrevistas semiestructuradas enfocadas al relato de la percepción de los entrevistados sobre causas y agentes de la deforestación, consecuencias y alternativas de solución. De las 25 entrevistas, 10 fueron a miembros de la comunidad y 15 a funcionarios que ocupan o han ocupado un cargo alto en entidades que tienen inferencia en el control de la deforestación.

Respecto al género 17 fueron hombres y 8 mujeres, se trató de entrevistar equitativamente hombres y mujeres, pero la representatividad tanto en líderes de la comunidad como de personas agentes de decisiones fue mayoritariamente de hombres. Antes de la aplicación de la metodología a la muestra completa, se realizó una fase de prueba o piloto para ajustarla y detectar posibles problemas.

En total se realizaron 25 entrevistas, las cuales se discriminan a continuación:

- Cuatro (4) funcionarios de ONG (1 de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito del Departamento del Putumayo -UNODC, 1 de la entidad Conservación Internacional, 1 de la Programa Amazonía Mía financiado por la USAID, 1 del Consorcio que elaboró el Plan de Ordenación Forestal de Orotuya)
- Diez (10) líderes de la Comunidad (3 líderes indígenas, 1 líder Afrodescendiente, 1 Desmovilizado de las FARC, 3 líderes Campesinos, 1 líder Ganadero, 1 líder de comunidades de pequeña minería).
- Once (11) funcionarios Estatales (3 de CORPOAMAZONIA, 4 de la Gobernación del Putumayo, 1 de la Alcaldía de Puerto Guzmán, 1 de Instrumentos Públicos, 1 del Instituto Tecnológico del Putumayo, 1 del Programa Nacional Integral de Sustitución de Cultivos Ilícitos (PNIS).

El guion de las entrevistas semiestructuradas fue (Anexo 15: Guion de la entrevista):

1. Causas y agentes de la deforestación.
2. Apoyo institucional.
3. Alternativas de Solución.

El programa que se usó para la transcripción de los audios de las entrevistas a texto fue Google Pinpoint. Una herramienta disponible dentro de Google Journalist Studio, que es una suite de herramientas periodísticas creada en 2019 por Google para ayudar a los periodistas, que permite transcribir audio y archivos de video (Google, 2023). De forma predeterminada, las colecciones son privadas y están protegidas por las tecnologías de seguridad y privacidad de Google, líderes en el sector.

Ya con las entrevistas en texto, estas fueron procesadas con el programa Atlas.TI (Scientific Software Development GmbH, 2023), que es un software que facilita el análisis cualitativo de diversos instrumentos de recolección de la información. Este permite establecer relaciones complejas a partir de la identificación previa de códigos, lo que hace posible establecer categorías de análisis (Blanco, 2012). La ventaja que ofrece el software es la “reducción” de datos, en tanto que facilita aplicar relaciones entre los datos en distintos niveles a través del proceso de codificación y categorización (Chacón, 2004).

Una vez se cargaron las transcripciones de las entrevistas, se leyeron de forma detenida para identificar aquellos elementos más relevantes al momento del análisis de la deforestación. A partir de lo identificado fueron creados los códigos y una vez se contó con varios, se categorizaron por temáticas según el relacionamiento. Se identificaron 128 códigos (Anexo 16: Entrevistas cargadas en ATLAS.ti) y se categorizaron bajo cinco conceptos 1. Percepción de las causas de cambio de coberturas, 2. Percepción de los agentes de cambios de cobertura, 3. Percepción del apoyo institucional, 4. Percepción de la educación como solución en el largo plazo y 5. Percepción de los procesos de sustitución de cultivos ilícitos.

(ii) Encuestas

Para la caracterización de las causas y agentes de la deforestación a través de encuestas, se adaptó la metodología del modelo del IDEAM y se implementó después de superar las complejidades para acceder al área de estudio debido a la presencia de grupos al margen de la ley que controlan actividades ilícitas y generan violencia en la comunidad. El tamaño de la muestra se dio en función de los permisos de acceso que brindaron los grupos al margen de la ley que controlan el territorio. Para llevar a cabo las visitas, fue necesario informar de la llegada con anticipación y realizar el ingreso en compañía de un residente local, quien a su vez acompañó todos los recorridos en el campo. Estas actividades estuvieron sujetas a restricciones, incluyendo la imposibilidad de desplazarse después de las 6 de la tarde y la prohibición de acceder a ciertas áreas.

Con apoyo de la psicóloga, se planificó una estrategia conjunta para acceder a la zona de estudio, teniendo en cuenta los riesgos y limitaciones que imponen los grupos armados. En primer lugar, se estableció contacto con los líderes comunitarios de la zona a través de personas conocidas por la psicóloga. En esta primera etapa se presentó el objetivo de la investigación y los instrumentos de recolección de información a aplicar. Se explicó que la investigación busca determinar las motivaciones de la comunidad al momento de usar los recursos forestales que poseen y determinar las oportunidades de manejo del bosque que existen, para formular propuestas enfocadas a obtener ingresos a partir de su uso y así disminuir su desaparición (Ilustración 100). Posteriormente se describieron las preguntas que se realizarían en la encuesta.

Es importante destacar que se enfatizó que no se registraría ni preguntaría sobre cultivos ilícitos para preservar la seguridad de la comunidad y del equipo de investigación.

Ilustración 100: Explicación a miembro de la comunidad



Una vez que los líderes comunitarios aceptaron la realización de las encuestas en la zona de estudio, se pidió permiso al grupo armado al margen de la ley para ingresar al territorio que controla. Cabe destacar que, en todo momento, la solicitud de permiso se hizo a través de los líderes de la comunidad y nunca se tuvo contacto directo con el grupo armado. Después de aproximadamente tres semanas, se recibió la respuesta positiva, y se planificaron los primeros ingresos al área de estudio. Por recomendación de la psicóloga, los dos primeros ingresos se realizaron en un solo día, para minimizar los riesgos de seguridad.

La tercera entrada, para la cual se programó una estadía de cinco días, se programó para Semana Santa por sugerencia de la psicóloga, porque en estas fechas los grupos armados

al margen de la ley permiten que familiares de la comunidad ingresen al territorio. Durante todo el proceso, se contó con el apoyo y acompañamiento de los líderes de la comunidad, quienes se encargaron de contactar con las familias campesinas y programar los horarios y recorridos para las encuestas (Ilustración 101).

Ilustración 101: Evidencias encuestas miembros área de estudio



Cabe mencionar, que, una vez en el área de estudio, se pudo constatar que los grupos armados al margen de la ley imponen reglamentos a la comunidad, como la restricción de salir después de las 6 p.m. en la zona rural.

La experiencia y la confianza que la psicóloga tenía con la comunidad local fue un factor clave para la realización exitosa de las encuestas y la obtención de resultados valiosos. Además, el hecho de que el grupo armado al margen de la ley permitiera la entrada al territorio controlado fue un logro significativo, porque permitió obtener información valiosa que de otra manera habría sido imposible de recopilar.

Se realizaron un total de 30 encuestas de 82 preguntas (Anexo 13: Lista de preguntas de la encuesta), distribuidas en once apartados que responden a distintos temas, que giraron en tres temáticas principales: 1) caracterización de las familias y de sus actividades productivas; 2) dinámica espacial y temporal de las coberturas y 3) identificar las prácticas asociadas al cambio de coberturas. Las preguntas de las encuestas se realizaron a un miembro cabeza de hogar de las familias, en total se encuestaron 19 hombres y 11 mujeres de diferentes grupos étnicos (afrodescendientes: 3, colonos: 20, indígenas: 7) que viven en

el área de estudio y que realizan distintas actividades agropecuarias in-situ (cultivos de pancoger, ganadería y aprovechamiento del bosque a pequeña escala).

Para el diligenciamiento del cuestionario al momento de realizar la encuesta, se usó el programa KoboToolbox que es una plataforma gratuita y de código abierto utilizada para la recopilación de datos cuantitativos y cualitativos a través de la gestión de formularios electrónicos. Esta herramienta se puede utilizar con dispositivos móviles, es offline y se puede usar tanto en teléfonos, tabletas o cualquier navegador y migrar a PC sin dificultades. Los datos se sincronizan a través del servidor propio de KoboToolbox que, con fuertes protecciones, evita la pérdida de datos y la privacidad de estos (KoboToolbox, 2023). Finalmente, es importante destacar que los datos correspondientes a cada pregunta de las encuestas se encuentran disponibles de manera inmediata una vez que han sido recopilados, y pueden ser exportados con facilidad a hojas de cálculo, como Excel, lo que simplifica y acelera tanto el procesamiento como el análisis de la información (Anexo 14: Capturas de KoboToolbox del cuestionario de la encuesta).

De los resultados de estas encuestas se realizó estadística descriptiva para caracterizar las causas y los agentes de la deforestación, mediante en el cálculo de frecuencias y porcentajes.

4.2.3 Proceso de contraste de causas de la problemática

Esta investigación busca contrastar la información que ofrecen las entidades estatales en sus diferentes portales y publicaciones, asociada a las causas de la deforestación, con un nivel más detallado, obtenido a partir de la aplicación de las encuestas y entrevistas en el área de estudio. Para esto, se realizaron listados de las problemáticas, el primero creado a partir de lo identificado en la revisión de literatura de las publicaciones de diferentes autores y entidades con relación a lo reportado como causas de la deforestación y el segundo derivado de los resultados del procesamiento de las encuestas y las entrevistas. Luego a partir de cada listado se realizaron matrices de Vester, y se construyeron árboles de problemas para facilitar la identificación de las causas críticas.

Aunque la matriz de Vester es una metodología usada principalmente para apoyar la priorización de preguntas, y así garantizar un planteamiento de los objetivos en forma clara y precisa, se consideró apropiada para facilitar el análisis de la información colectada, porque es una manera eficiente y objetiva de categorizar los problemas e identificar aquellos que son críticos (el problema como tal), los activos (causas directas), los desencadenantes (indirectos) y algunos que no son relevantes (indiferentes) y los que más

que causas son efectos, o sea las consecuencias (pasivos). Esto se logra porque se analiza el nivel de incidencia de cada factor causal en la problemática estudiada (WWF-FCDS, 2019; Rivero et al., 2020; González & Rodríguez, 2022). Para hacer esto se listan las situaciones identificadas como causantes de la problemática previamente identificada.

La situación puede tener diferentes causas y consecuencias, pero se desconoce la raíz (situación que desencadena otros problemas y efectos), ni cuáles son las consecuencias más importantes. Es aquí cuando es útil la matriz de Vester, porque facilita determinar cuál es la principal causa (y con ello a priorizar los problemas) basándose en los efectos que puede llegar a ocasionar.

La matriz de Vester es una serie de filas y columnas que muestran tanto horizontal (filas) como verticalmente (columnas) las posibles causas (variables) de una situación problemática. Lo que se hace básicamente es enfrentar los problemas (variables) entre sí basándonos en los siguientes criterios de calificación: 0, 1, 2 y 3:

- 0: No lo causa
- 1: Lo causa indirectamente o tiene una relación de causalidad muy débil
- 2: Lo causa de forma semidirecta o tiene una relación de causalidad media
- 3: Lo causa directamente o tiene una relación de causalidad fuerte.

Al identificar las variables o problemas, no existe un número fijo que deba figurar en la lista. Algunos autores sostienen que a partir de 13 problemas, estos dejan de considerarse como tales, mientras que otros opinan que se necesitan al menos 10 ideas para obtener un resultado satisfactorio (Betancourt, 2016). El proceso consiste en investigar a fondo la problemática, enumerar las variables y elegir aquellas que se perciban como las de mayor impacto.

Posteriormente, es necesario redactar el problema asociado a la situación identificada como causante, y hacerlo de una forma tal, que la persona que lo lea entienda que es un problema. Para esto es necesario pensar en el impacto que la situación ocasiona y no en el que está ocurriendo. Por ejemplo:

Incorrecto: Los pobladores del área son pobres. Correcto: Alto índice de pobreza multidimensional.

Incorrecto: Los pobladores les gusta sembrar coca. Correcto: Actividades de cultivos ilícitos son poco rentables: también puede ser “Economías ilícitas son rentables”.

Ya con la lista de problemas escogidos se asigna un identificador a cada uno, algo que permita identificarlo fácilmente. Problema 1, problema 2, etc., o p1.,p2, p3, etc. Se ubican los problemas en la matriz, tanto en la cabecera de filas como de columnas se llena con 0 la diagonal principal, es decir, el cruce donde cada variable vertical concuerda con su homólogo horizontal (1,1), (2,2), (3,3), etc. (Saldarriaga, 2020).

Para llenar la matriz se asignan las ponderaciones comenzando con el problema #1 de la fila versus el problema #2 de las columnas. En la Ilustración 102 se muestra la dirección de diligenciamiento.

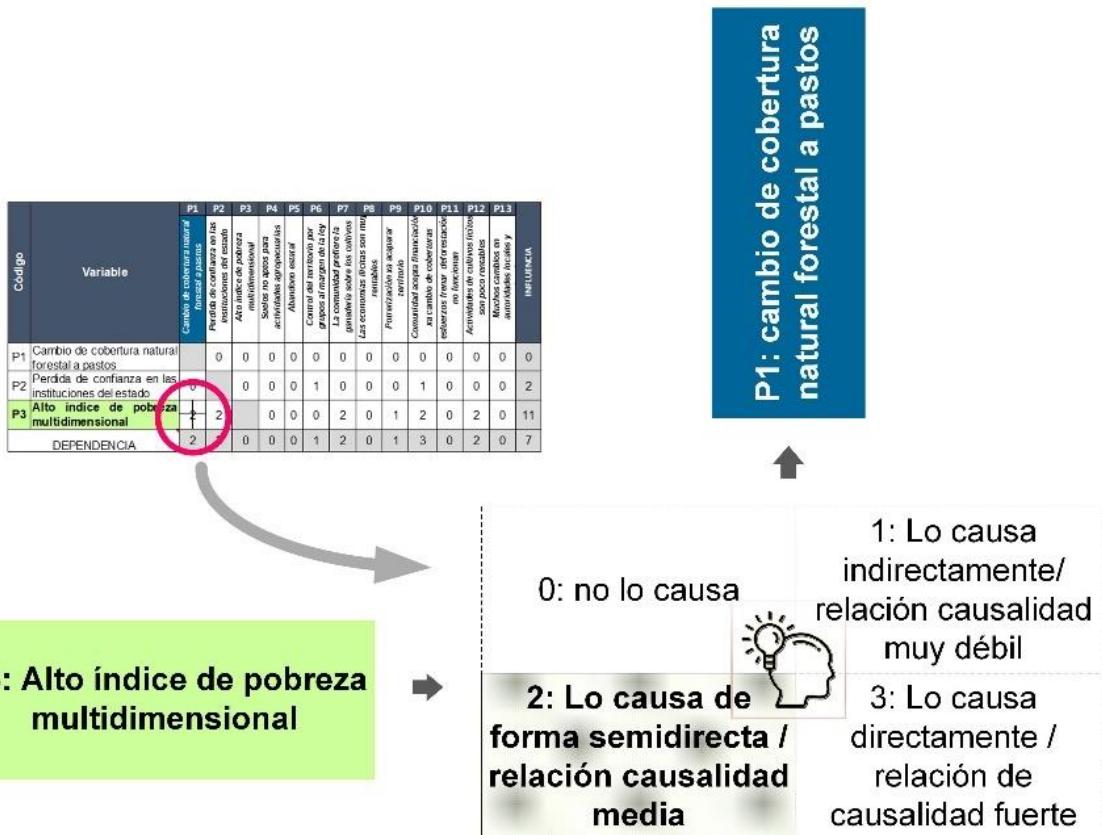
Ilustración 102: Dirección de diligenciamiento matriz Vester

Código	Variable	P1 Cambio de cobertura natural forestal a pastos	P2 Perdida de confianza en las instituciones del estado	P3 Alto índice de pobreza multidimensional	P4 Suelos no aptos para actividades agropecuarias	P5 Abandono estatal	P6 Control del territorio por grupos al margen de la ley	P7 La comunidad prefiere la ganadería sobre los cultivos	P8 Las economías ilícitas son muy rentables	P9 Poterizización xa acaparar territorio	P10 Comunidad acepta financiación xa cambio de coberturas	P11 esfuerzos frenar deforestación no funcionan	P12 Actividades de cultivos licítos son poco rentables	P13 Muchos cambios en autoridades locales y	INFLUENCIA
P1	Cambio de cobertura natural forestal a pastos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	Perdida de confianza en las instituciones del estado	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2
P3	Alto índice de pobreza multidimensional	2	2	0	0	0	0	2	0	1	2	0	2	0	11
DEPENDENCIA		2	2	0	0	0	1	2	0	1	3	0	2	0	7

Para diligenciar se pregunta ¿Qué tanto puede llegar a causar el problema #1 al problema #2?, ejemplo:

P3: Alto índice de pobreza multidimensional CAUSA a P1: cambio de cobertura natural forestal a pastos, en resumen: ¿Problema #3 causa problema#1?, ¿Problema #3 causa problema#2?, ¿Problema #3 causa problema#4?, ¿Problema #3 causa problema#5?, y así sucesivamente. Una vez se hace la pregunta, se determina cuál es la relación de causalidad: ¿Es 0, 1, 2 o 3?. En la Ilustración 103 se muestra un ejemplo de cómo determinar si el problema # 3 causa el problema #1.

Ilustración 103: Opciones de causalidad Matriz de Vester



La selección de la causalidad es a criterio de la persona que está realizando la matriz, quien previamente debe haber realizado una investigación íntegra sobre las causas de la problemática de interés.

Es muy importante tener presente que no existe la misma relación de causalidad del problema #1 con respecto al problema #2, comparada con el problema #2 con respecto al problema número #1. Por tal razón, esta matriz no es simétrica, por ejemplo, P3 causa de forma semidirecta a P1, mientras que P1 no tiene influencia en P3. Para facilitar la interpretación de este paso se muestra el paso a paso en la Ilustración 104.

Ilustración 104: Asignación de valoración de causalidad

Código	Variable	P1	P2	P3	P4	
P1	Cambio de cobertura natural forestal a pastos			0		¿P1 causa P3?
P2	Perdida de confianza en las instituciones del estado					P1 Cambio de cobertura natural forestal a pastos <i>0: no lo causa</i>
P3	Alto índice de pobreza multidimensional	2				P3 Alto índice de pobreza multidimensional

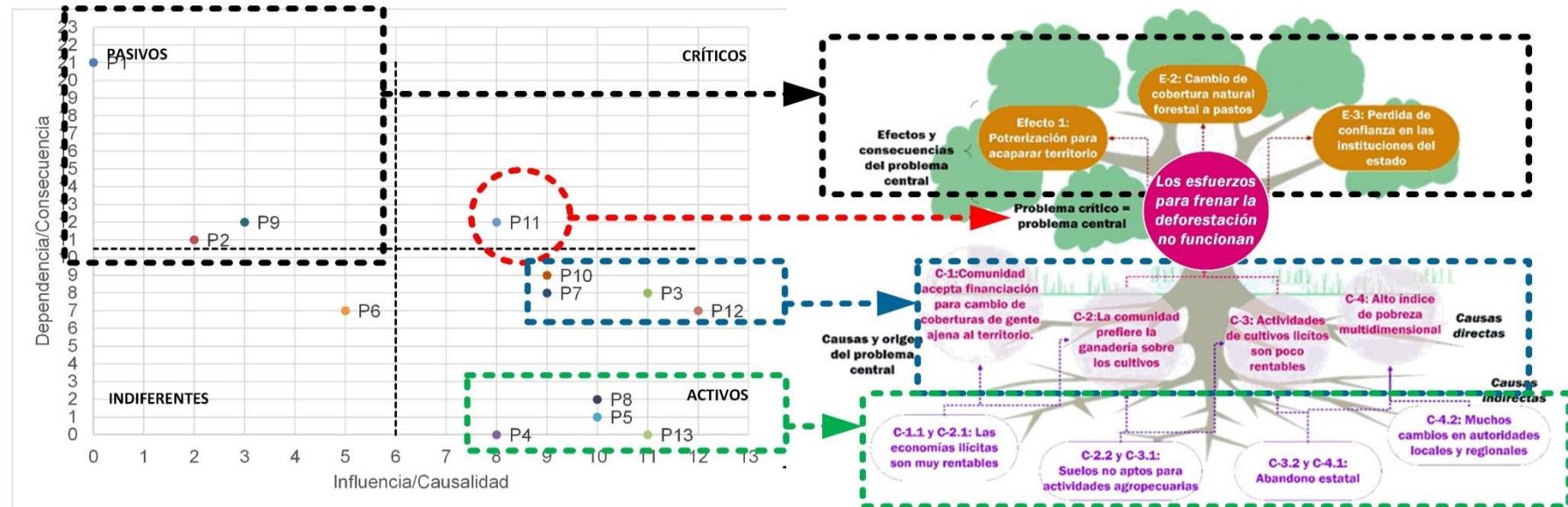
↓

¿P3 causa P1?	
P3 Alto índice de pobreza multidimensional	
2: <i>lo causa de forma semidirecta</i>	
P1 Cambio de cobertura natural forestal a pastos	

Para facilitar la categorización se consideró apropiado usar el “árbol de problemas”, que permite la representación gráfica y sistemática del problema central con sus respectivas causas y consecuencias. La construcción del árbol de problemas se puede realizar como técnica independiente. Sin embargo, su uso es más fácil si se cuenta con la matriz de Vester como insumo (Corredor et al., 2019).

Para hacer el árbol de problemas se parte del gráfico de las valoraciones asignadas en los pasos anteriores, en donde, los problemas que están más a la derecha (influencia-causalidad) y más arriba (dependencia-consecuencia) son los más críticos. En la Ilustración 105 se puede ver que el problema que se ubica en la matriz de Vester en el cuadrante de los críticos corresponde a la causa raíz y es el problema principal. Este problema es causado por los problemas activos, siendo causas directas los que están más cerca al problema crítico y causas indirectas los ubicados debajo de las causas directas. Por último, los efectos del problema crítico o central son los que se ubican en el cuadrante de los problemas pasivos (Martínez & Fernández, 2008).

Ilustración 105: Paso de matriz de Vester al árbol de problemas



P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Cambio de cobertura natural forestal a pastos	Perdida de confianza en las instituciones del estado	Alto índice de pobreza multidimensional	Suelos no aptos para actividades agropecuarias	Abandono estatal	Control del territorio por grupos al margen de la ley	La comunidad prefiere la ganadería sobre los cultivos

P8	P9	P10	P11	P12	P13
Las economías ilícitas son muy rentables	Poterización xa acaparar territorio	Comunidad acepta financiación xa cambio de coberturas	esfuerzos frenar deforestación no funcionan	Actividades de cultivos licítos son poco rentables	Muchos cambios en autoridades locales y regionales



CAPITULO 5. RESULTADOS

*Camino en bosque húmedo tropical amazónico área de influencia Río
Caquetá*

*Dinámica de la fragmentación (perforación)
Autor: Eraso, 2022*

CAPITULO 5. RESULTADOS

Buscando realizar un análisis de las dinámicas y causas de la deforestación en la región amazónica, se seleccionó un área ubicada en el denominado “arco de la deforestación”, donde las tasas de deforestación son las más altas a nivel nacional de Colombia. Por ende, se procedió a generar cartografía de coberturas del suelo a escala 1:25.000 para los años 2010 y 2020, a hacer un análisis multitemporal de cambio de coberturas durante este periodo, a realizar un análisis de fragmentación y a ejecutar la caracterización de las causas de la deforestación a partir de información secundaria y levantamiento de información primaria a partir de entrevistas y encuestas.

El estudio parte del año 2010 debido a que, la base de referencia de superficie de bosque para desarrollar medidas de reducción de deforestación y de mitigación al cambio climático, deben ser tomadas a partir del año 2010 según la EICDGB, quien busca cumplir lo aprobado en el “Acuerdo de París”.

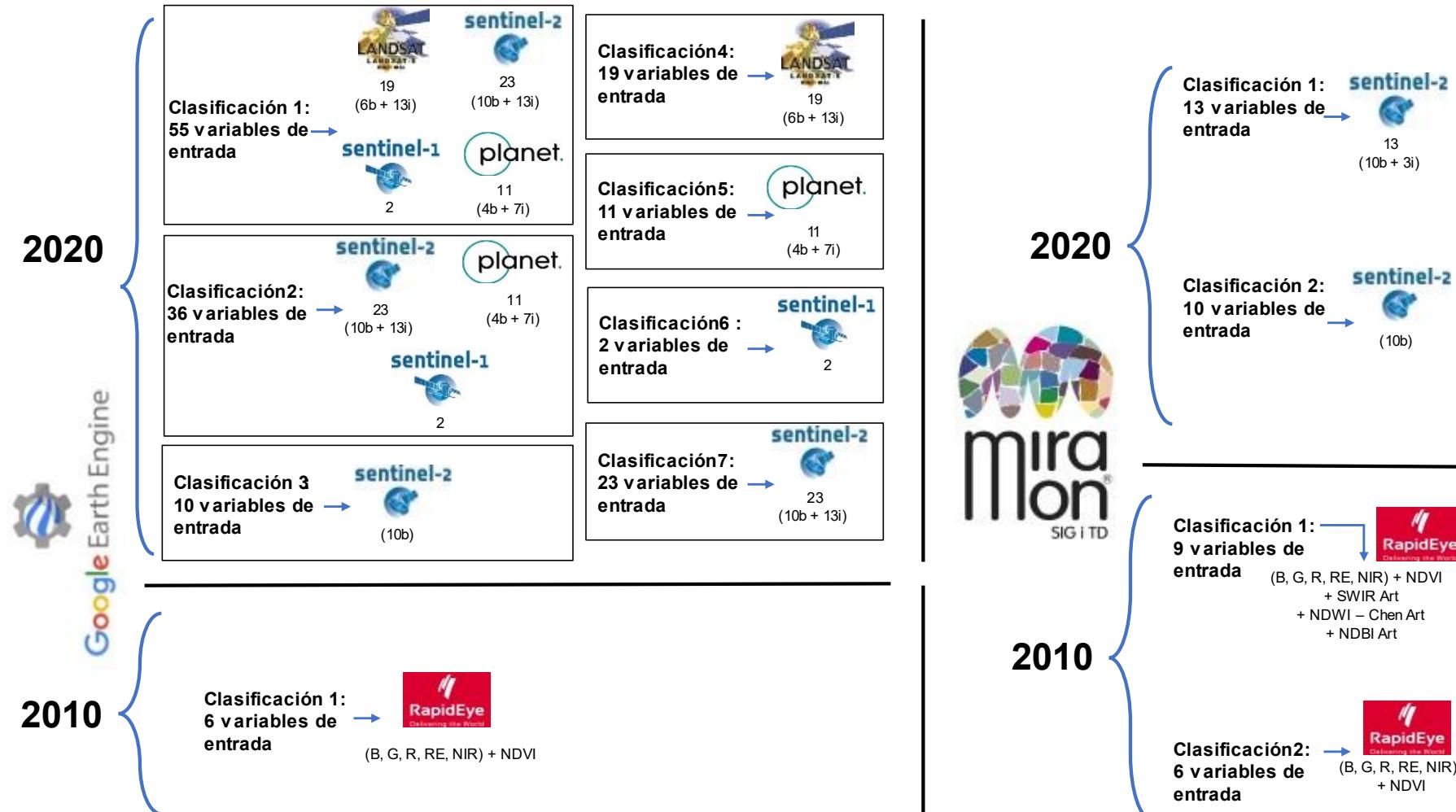
A continuación, se presentan los resultados de esta investigación divididos en dos grandes apartados: el primero aborda las dinámicas territoriales (2010 - 2020), mientras que el segundo se centra en las causas de la deforestación.

5.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS DINÁMICAS TERRITORIALES (2010 - 2020)

5.1.1 La clasificación supervisada y tipos de cobertura

Este apartado contiene los resultados de las clasificaciones supervisadas utilizando los algoritmos Random Forest y k-NN en Google Earth Engine y MiraMon respectivamente para los años 2010 y 2020, las cuales se relacionan en la Ilustración 106. Se inicia presentando los resultados del año 2020 debido a que se contaba con más cantidad de sensores satelitales de observación de la tierra, lo que proporciona mayor riqueza de datos en términos de resolución temporal, espacial y espectral.

Ilustración 106: Clasificaciones supervisadas 2010 – 2020 (b=bandas espectrales / i = índices espectrales)



5.1.1.1 Validación Random Forest

A continuación, se presentan los resultados de la validación de la clasificación supervisada utilizando el algoritmo Random Forest en GEE para los años 2020 y 2010, derivados del procesamiento explicado en el apartado 4.1.1. En el caso del año 2020, se presentan los resultados de las siete clasificaciones supervisadas, mientras que para el año 2010 se presenta el resultado de una clasificación supervisada.

a) Validación de la clasificación supervisada del año 2020

Para determinar que combinación de las siete variables de clasificación es la óptima para el año 2020 en la Ilustración 107 se muestra los resultados de precisión general y coeficiente de Kappa de las siete clasificaciones supervisadas utilizando el algoritmo Random Forest en GEE.

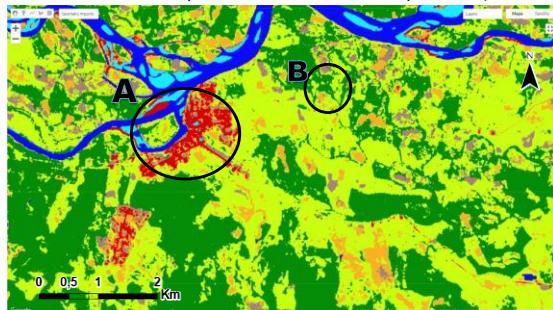
En la clasificación 2, que utiliza el subconjunto de 2 con 36 variables de entrada (Ilustración 58 y Anexo 5), la precisión general fue de 90,58% y el coeficiente de Kappa fue de 0,8865. Por lo tanto, el más alto en comparación a los resultados de usar como variables de clasificación los subconjuntos 1, 3, 4, 5, 6 y 7. A continuación, se muestra el detalle las matrices de confusión, precisión general y coeficiente de Kappa de las siete clasificaciones supervisadas para el año 2020 (Ilustración 107) y sus imágenes resultantes (Ilustración 108).

Ilustración 107: Matriz de Confusión, precisión general y coeficiente Kappa

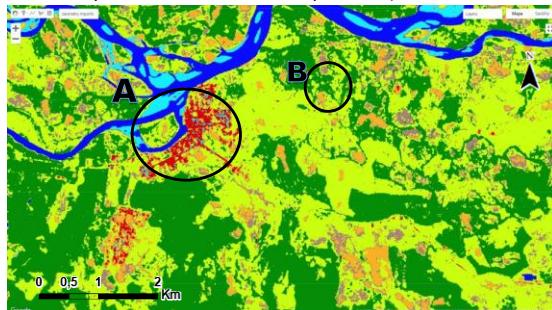
<p>Clasificación 1. 55 Variables de Clasificación (Landsat-8, Sentinel-2, PlanetScope, Sentinel-1 + Índices Espectrales)</p> <p>Matriz de Confusión</p> <ul style="list-style-type: none"> ▼ List (8 elements) <ul style="list-style-type: none"> ► 0: [0,0,0,0,0,0,0,0] ► 1: [0,19,1,0,0,0,0,0] ► 2: [0,1,7,0,0,2,0,0] ► 3: [0,0,0,9,0,1,0,0] ► 4: [0,0,0,2,8,0,0,0] ► 5: [0,0,1,0,0,9,0,0] ► 6: [0,0,0,0,0,0,20,0] ► 7: [0,0,0,0,1,0,0,4] <p>Precisión General: 0.8941176470588236</p> <p>Coeficiente Kappa: 0.872393661384487</p>	<p>Clasificación 2. 36 Variables de Clasificación (Sentinel-2, PlanetScope, Sentinel-1 + Índices Espectrales)</p> <p>Matriz de Confusión</p> <ul style="list-style-type: none"> ▼ List (8 elements) <ul style="list-style-type: none"> ► 0: [0,0,0,0,0,0,0,0] ► 1: [0,19,1,0,0,0,0,0] ► 2: [0,1,8,0,0,1,0,0] ► 3: [0,0,0,9,0,1,0,0] ► 4: [0,0,0,2,8,0,0,0] ► 5: [0,0,1,0,0,9,0,0] ► 6: [0,0,0,0,0,0,20,0] ► 7: [0,0,0,0,1,0,0,4] <p>Precisión General: 0.9058823529411765</p> <p>Coeficiente Kappa: 0.8865721434528773</p>	<p>Clasificación 3. 10 Variables de Clasificación (Sentinel-2 solo Bandas Espectrales)</p> <p>Matriz de Confusión</p> <ul style="list-style-type: none"> ▼ List (8 elements) <ul style="list-style-type: none"> ► 0: [0,0,0,0,0,0,0,0] ► 1: [0,19,1,0,0,0,0,0] ► 2: [0,1,8,0,0,1,0,0] ► 3: [0,0,0,9,0,1,0,0] ► 4: [0,0,0,1,9,0,0,0] ► 5: [0,0,3,0,0,7,0,0,0] ► 6: [0,0,0,0,0,0,20,0] ► 7: [0,0,0,1,1,0,0,3] <p>Precisión General: 0.8823529411764706</p> <p>Coeficiente Kappa: 0.8580968280467446</p>
<p>Clasificación 4. 19 Variables de Clasificación (Landsat-8 + Índices Espectrales)</p> <p>Matriz de Confusión</p> <ul style="list-style-type: none"> ▼ List (8 elements) <ul style="list-style-type: none"> ► 0: [0,0,0,0,0,0,0,0] ► 1: [0,19,1,0,0,0,0,0] ► 2: [0,1,6,0,1,1,1,0] ► 3: [0,2,0,3,3,0,0,2] ► 4: [0,0,0,0,0,9,1,0,0] ► 5: [0,0,1,0,0,9,0,0,0] ► 6: [0,0,0,0,0,0,20,0] ► 7: [0,0,0,0,1,1,0,3] <p>Precisión General: 0.8117647058823529</p> <p>Coeficiente Kappa: 0.7721943048576214</p>	<p>Clasificación 5. 11 Variables de Clasificación (PlanetScope + Índices Espectrales)</p> <p>Matriz de Confusión</p> <ul style="list-style-type: none"> ▼ List (8 elements) <ul style="list-style-type: none"> ► 0: [0,0,0,0,0,0,0,0] ► 1: [0,19,1,0,0,0,0,0] ► 2: [0,1,8,0,0,1,0,0] ► 3: [0,0,0,9,0,1,0,0] ► 4: [0,0,0,2,8,0,0,0] ► 5: [0,0,3,0,0,0,7,0,0] ► 6: [0,0,0,0,0,0,20,0] ► 7: [0,0,0,0,3,0,0,2] <p>Precisión General: 0.8588235294117647</p> <p>Coeficiente Kappa: 0.8295739348370926</p>	<p>Clasificación 6. 2 Variables de Clasificación (Sentinel-1: VV, VH)</p> <p>Matriz de Confusión</p> <ul style="list-style-type: none"> ▼ List (8 elements) <ul style="list-style-type: none"> ► 0: [0,0,0,0,0,0,0,0] ► 1: [0,13,1,1,2,1,0,2] ► 2: [0,1,3,2,3,0,1,0] ► 3: [0,5,1,1,1,1,1,0] ► 4: [0,3,2,3,2,0,0,0] ► 5: [0,2,0,0,2,5,0,1] ► 6: [0,0,1,0,0,0,19,0] ► 7: [0,2,0,0,1,0,0,2] <p>Precisión General: 0.5294117647058824</p> <p>Coeficiente Kappa: 0.4266441821247892</p>
<p>Clasificación 7. 23 Variables de Clasificación (Sentinel-2 + Índices Espectrales)</p> <p>Matriz de Confusión</p> <ul style="list-style-type: none"> ▼ List (8 elements) <ul style="list-style-type: none"> ► 0: [0,0,0,0,0,0,0,0] ► 1: [0,19,1,0,0,0,0,0] ► 2: [0,1,9,0,0,0,0,0] ► 3: [0,0,0,9,0,1,0,0] ► 4: [0,0,0,2,8,0,0,0] ► 5: [0,0,2,0,0,8,0,0] ► 6: [0,0,0,0,0,0,20,0] ► 7: [0,0,0,0,2,0,0,3] <p>Precisión General: 0.8941176470588236</p> <p>Coeficiente Kappa: 0.8722871452420701</p>		

Ilustración 108: Resultados de las clasificaciones supervisadas para el año 2020

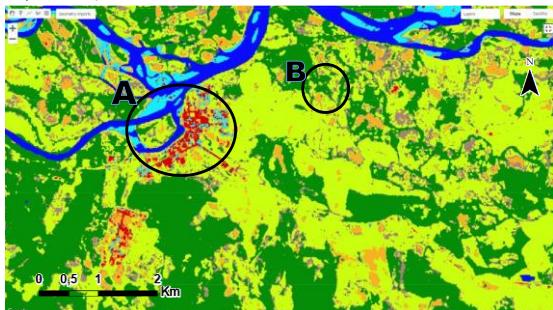
Clasificación 1. 55 Variables de Clasificación (Landsat-8, Sentinel-2, PlanetScope, Sentinel-1 + Índices Espectrales)



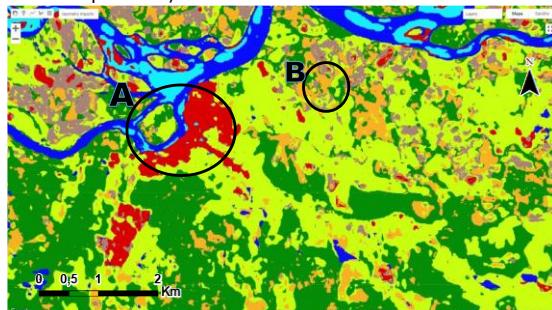
Clasificación 2. 36 Variables de Clasificación (Sentinel-2, PlanetScope, Sentinel-1 + Índices Espectrales)



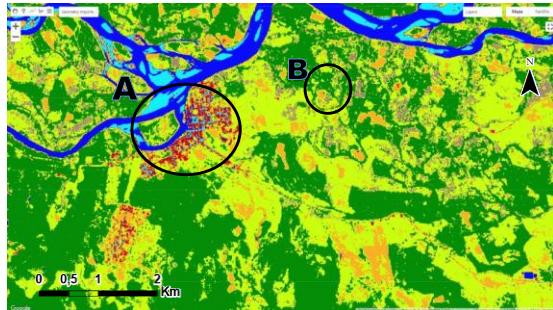
Clasificación 3. 10 Variables de Clasificación (Sentinel-2 solo Bandas Espectrales)



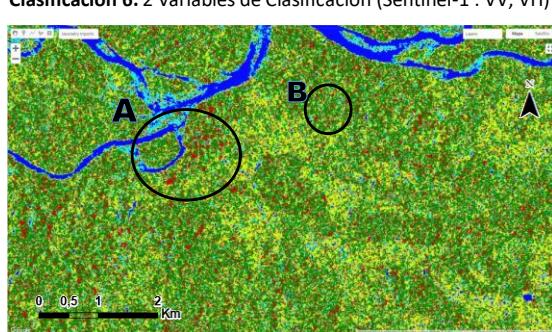
Clasificación 4. 19 Variables de Clasificación (Landsat-8 + Índices Espectrales)



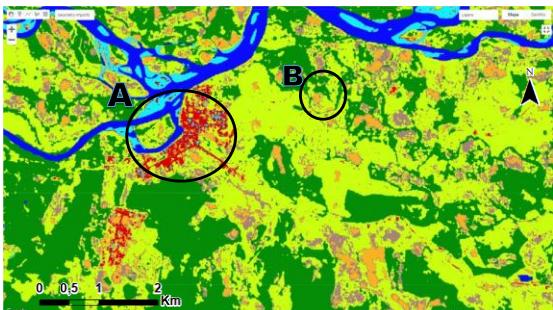
Clasificación 5. 11 Variables de Clasificación (PlanetScope + Índices Espectrales)



Clasificación 6. 2 Variables de Clasificación (Sentinel-1 : VV, VH)



Clasificación 7. 23 Variables de Clasificación (Sentinel-2 + Índices Espectrales)



Bosque_denso (70 pts)



Zonas_arenosas_naturales (35 pts)



Tierras_desnudas_y_degradadas (35 pts)



Pastos (35 pts)



Zonas_urbanizadas (35 pts)



Aqua (60 pts)



MosaicoCultivos (15 pts)



Si contrastamos la clasificación supervisada 3 que tiene como variables de entrada 10 bandas espectrales de Sentinel-2 en contraste clasificación supervisada 7 que tiene como variables de entrada las 10 bandas y 13 índices espectrales de Sentinel-2 se puede observar al añadir como variables de clasificación los índices espectrales se obtiene mejores resultados de identificación de coberturas, logrando delimitar y diferenciar mejor la cobertura de zonas urbanizadas y zonas arenosas.

A continuación, se listan las diferencias del resultado de la clasificación 2 que contiene 33 variables de clasificación y fue la que mejor resultado arrojó, en contraste a cada una de las clasificaciones. Para ello, se toma como referencia dos círculos negros (A, B) que tienen la misma ubicación y tamaño en todas las clasificaciones (Ilustración 108):

- Clasificación 2 en contraste a clasificación 1.
 - Se puede observar en el círculo A, que el resultado de la clasificación supervisada al usar las 55 variables de entrada, es decir la integración de la información de todos los sensores usados, presenta errores con las coberturas de agua, zonas arenosas y zonas urbanizadas. Esto se debe a que la imagen de Landsat-8 fue del 14 de abril de 2020 mientras que las imágenes de los demás sensores fueron del 26 de agosto de 2020. Esta diferencia de 4 meses en una región con precipitaciones altas hace que las coberturas de ríos y zonas arenosas sean muy dinámicas. Algo similar sucede con la cobertura de bosque, al tener un importante cambio es probable que durante estos 4 meses se hayan presentado cambios en esta cobertura. Por lo que la integración de Landsat-8 es recomendable siempre y cuando el margen temporal sea cercano. Como se mencionó en el apartado 2.4.3 (Sensores usados - Landsat), actualmente, esta situación ha experimentado un cambio significativo con el lanzamiento de la última misión Landsat-9, que fue enviada a la órbita en septiembre de 2021. Esta misión es casi una réplica de Landsat-8 y toma imágenes intercaladas, obteniendo de esta manera una revisita cada 8 días entre Landsat-8 y Landsat-9 (Tardà, 2022).
- Clasificación 2 en contraste a clasificación 3.
 - En la clasificación supervisada usando solo las bandas de Sentinel-2 el error es más alto, esto fue especialmente evidente respecto a cobertura urbana, que la combina con zonas arenosas, este error se pudo verificar en campo y fotointerpretación.

- Clasificación 2 en contraste a clasificación 4.
 - En la clasificación supervisada usando solo la información de Landsat-8 la precisión general fue significativamente menor, esto fue especialmente evidente respecto a cobertura urbana, que la identifica en áreas que no aplican, este error se pudo verificar en campo y fotointerpretación. El error en las coberturas de agua y zonas arenosas se debe a la alta dinámica del río Caquetá y al tener 4 meses de diferencia posiblemente las muestra no corresponda.
- Clasificación 2 en contraste a clasificación 5.
 - Se puede observar en el círculo B, que el resultado de la clasificación supervisada al usar únicamente las bandas espectrales de PlanetScope arroja un efecto sal y pimienta (es un tipo de ruido que hace que aparezca una serie de píxeles aislados de aspecto muy contrastado con sus vecinos), mientras que el resultado de la clasificación supervisada usando las 33 variables de clasificación el efecto sal y pimienta se ve reducido significativamente.
- Clasificación 2 en contraste a clasificación 6.
 - Por último, las diferencias respecto a la clasificación supervisada con la polarización en VV y VH de Sentinel-1, si bien Sentinel-1 es un sensor radar y entre sus ventajas está la detección de cambios en la topografía, la observación en condiciones climáticas adversas, sus limitaciones en términos de resolución espacial y dificultades en la interpretación visual lo hacen menos adecuado para la clasificación detallada y precisa de diferentes tipos de cobertura del suelo, se puede observar que el resultado de la clasificación supervisada usando este sensor, este brinda una identificación aceptable de la cobertura de agua, pero no es óptimo para diferenciar las demás coberturas.

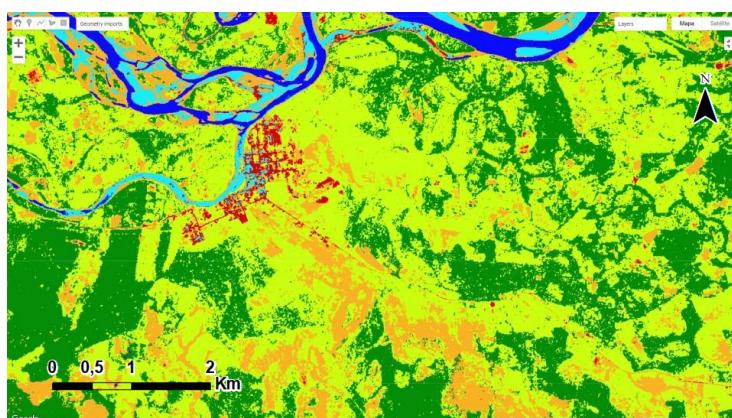
Al comparar los resultados de las siete clasificaciones supervisadas del año 2020 utilizando el algoritmo Random Forest, se observa que al integrar los datos de distintos sensores que capturaron las imágenes en fechas cercanas y al incluir índices espectrales como variables de clasificación, la precisión general aumenta. Este incremento de la presicion general fue del 1%, en contraste al 89,41% de la clasificación 1.

b) Validación de la clasificación supervisada del año 2010

Para el año 2010 la precisión general al usar el algoritmo Random Forest fue de 85,33% y el coeficiente de Kappa fue de 0.8248, indicando un alto nivel de precisión y confiabilidad en la clasificación realizada (Ilustración 109).

Ilustración 109: Clasificación supervisada de RapidEye con 6 variables de clasificación

Clasificación 1. 6 Variables de Clasificación (5 Bandas espectrales RapidEye + NDVI)



Matriz de Confusión

▼ List (8 elements)
► 0: [0,0,0,0,0,0,0]
► 1: [0,13,0,0,1,0,0,1]
► 2: [0,0,8,0,0,1,2,0]
► 3: [0,0,1,8,1,0,0,0]
► 4: [0,0,0,0,12,0,0,1]
► 5: [0,0,0,0,2,3,0,0]
► 6: [0,0,1,0,0,0,15,0]
► 7: [0,0,0,0,0,0,0,5]

Precisión General:

0.8533333333333334

Coeficiente Kappa:

0.8246546227417642

5.1.1.2 Clasificación supervisada k-NN

A continuación, se presentan los resultados de la validación e incertidumbre de la clasificación supervisada usando el algoritmo k-NN en MiraMon para los años 2020 y 2010, derivados del procesamiento explicado en el apartado 4.1.2. Para cada año se presentan los resultados de dos clasificaciones supervisadas con el objetivo de contrastar sus resultados y determinar que combinación de variables de entrada es óptima.

También se presentan los resultados de las dos regresiones lineales múltiples calculadas con la información del año 2020 con el propósito de generar de forma artificial la banda SWIR para el año 2010.

a) **Validación de la clasificación supervisada del año 2020**

Se presentan los resultados de validación de las dos clasificaciones supervisadas usando el algoritmo k-NN para el año 2020. La primera incluye como variables de clasificación las bandas espectrales junto con los índices espectrales de Sentinel-2 y la segunda solo se usó como variables de clasificación las bandas espectrales de Sentinel-2. Para determinar si al añadir índices espectrales la clasificación mejora, se comparan los resultados de validación entre estas dos clasificaciones.

La Tabla 44 muestra los resultados de validación de la clasificación supervisada 1 del año 2020 usando bandas e índices espectrales. Las filas de la Matriz Confusión son las coberturas de la imagen clasificada y las columnas representan la imagen verdad terreno.

El error de comisión más alto lo presenta la categoría de pastos, alcanzando el 28,57%, lo que significa que el 28,57% de las muestras de validación han sido clasificadas erróneamente como pastos. Mientras que el error de omisión más alto lo presenta la categoría de mosaico de cultivos, llegando al 80%, indicando que el 80% de las muestras de validación de mosaico de cultivos han sido clasificadas incorrectamente. El acierto global fue de 91,76% y el coeficiente de Kappa fue de 0.90, indicando un alto nivel de precisión y confiabilidad en la clasificación realizada.

Como se explicó apartado 4.1.2 en la sección de validación el coeficiente Kappa puede no ser la mejor opción para la validación de clasificación supervisada de imágenes satelitales debido a que no tiene en cuenta el desequilibrio de clases. Por lo tanto, también se tiene en cuenta, el acierto global ponderado a partir de la superficie de la capa a evaluar, el acierto global ponderado a partir de la superficie de las áreas Verdad-Terreno que genera MiraMon al momento de realizar las validaciones.

El acierto global ponderado a partir de la superficie de la capa a evaluar fue de 90,83%, es decir, se da más peso a las categorías que ocupan más área como por ejemplo la cobertura de bosque.

El acierto global ponderado a partir de la superficie de las áreas Verdad-Terreno fue de 91,89%, se da más peso a las categorías que tienen más muestras de test para este caso son las coberturas de agua y bosque.

Tabla 44: Resultados validación clasificación supervisada año 2020 usando bandas e índices espectrales

Tabla de frecuencia de ocurrencias (celdas)		1	2	3	4	5	6	7				
		Bosque	Zonas arenosas	Tierra desnuda	Pastos	Zonas urbanas	Agua	Mosaico de cultivos	Total	Error de comisión	Exactitud del usuario	
1 Bosque		19	1	0	0	0	0	0	20	5.00	95.00	
2 Zonas arenosas		0	9	0	0	1	0	0	10	10.00	90.00	
3 Tierra desnuda		0	0	10	0	0	0	0	10	0.00	100.00	
4 Pastos		0	0	0	10	0	0	4	14	28.57	71.43	
5 Zonas urbanas		0	0	0	0	9	0	0	9	0.00	100.00	
6 Agua		1	0	0	0	0	20	0	21	4.76	95.24	
7 Mosaico de cultivos		0	0	0	0	0	0	1	1	0.00	100.00	
255 NODATA->NODATA		0	0	0	0	0	0	0	0	100.00	0.00	
Total			20	10	10	10	10	20	5	85		
Error de omisión			5.00	10.00	0.00	0.00	10.00	0.00	80.00			
Exactitud del productor			95.00	90.00	100.00	100.00	90.00	100.00	20.00			
Número total de pixeles de la capa Verdad-Terreno que podrían ser usados para la evaluación (A)		85										
Porcentaje de pixeles de la capa Verdad-Terreno que han sido clasificados (100*B/A)		100.00%										
Número de aciertos (C)		78										
Acierto global (C/A)		91.76%										
Acierto global ponderado a partir de la superficie de la capa a evaluar		90.83%										
Acierto global ponderado a partir de la superficie de las áreas Verdad-Terreno		91.89%										
Kappa		0.90										
Varianza kappa:		0.00127017										

La Tabla 45 muestra los resultados de la validación de la clasificación supervisada 2 del año 2020, la cual, usa solo las bandas como variables de clasificación.

El error de comisión más alto lo tienen las categorías de mosaico de cultivos con 100%, pastos con 35,71% y zonas arenosas con 30,77% mientras que el error de omisión más alto lo tienen las categorías de mosaico de cultivos con 100% y zonas urbanas con 40%. El acierto global fue de 85,88% mientras que el Acierto global ponderado a partir de la superficie de la capa a evaluar fue de 86% y el Acierto global ponderado a partir de la superficie de las áreas Verdad-Terreno fue de 86,62%. Kappa fue de 0,83, indicando un alto nivel de precisión y confiabilidad en la clasificación realizada.

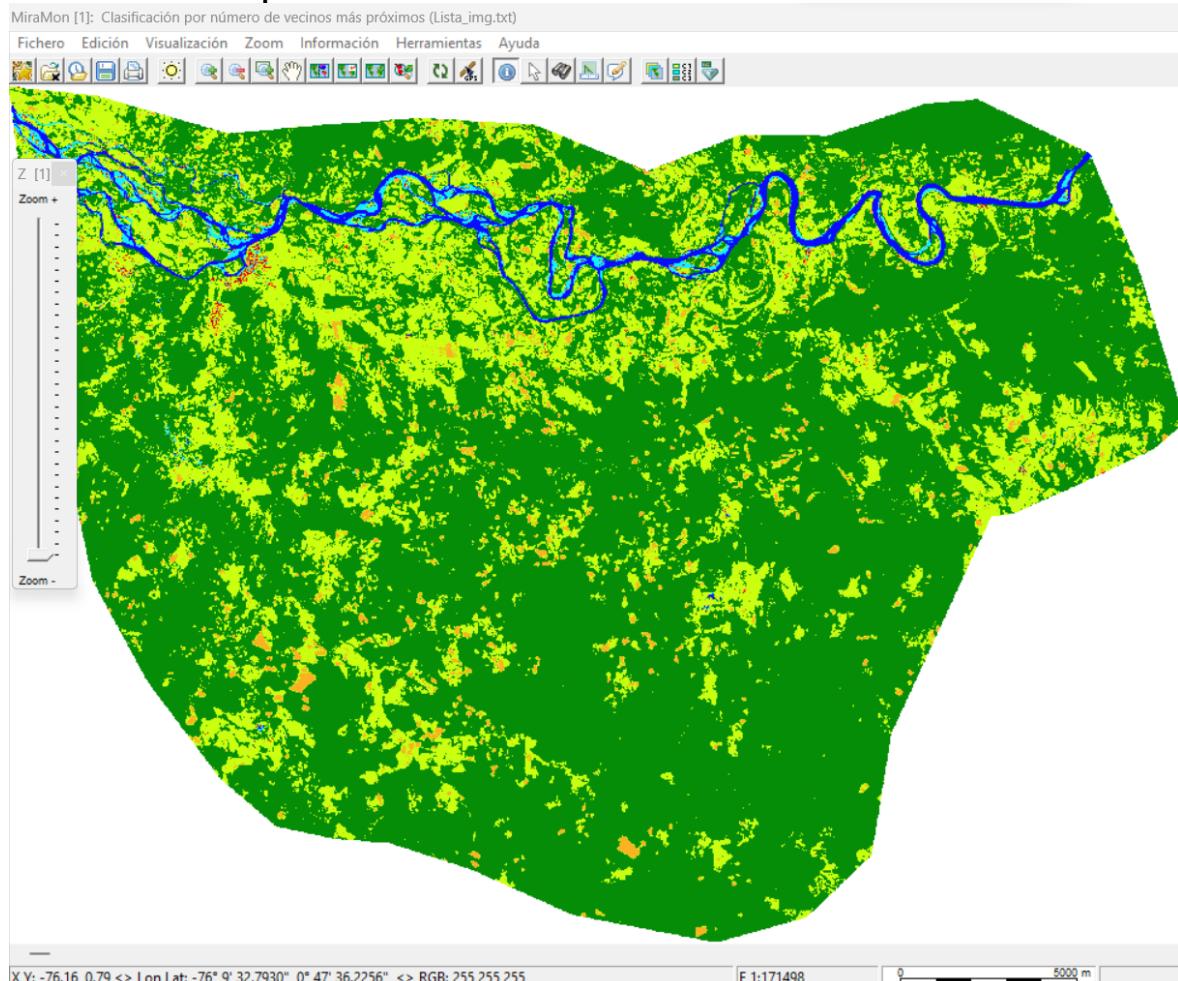
Tabla 45: Resultados de la validación de la clasificación supervisada del año 2020 usando solo las bandas como variables de clasificación

Tabla de frecuencia de ocurrencias (celdas)		1	2	3	4	5	6	7			
		Bosque	Zonas arenosas	Tierra desnuda	Pastos	Zonas urbanas	Agua	Mosaico de cultivos	Total	Error de comisión	Exactitud del usuario
1 Bosque		19	1	0	1	0	0	0	21	9.52	90.48
2 Zonas arenosas		0	9	0	0	4	0	0	13	30.77	69.23
3 Tierra desnuda		0	0	10	0	0	0	0	10	0.00	100.00
4 Pastos		0	0	0	9	0	0	5	14	35.71	64.29
5 Zonas urbanas		0	0	0	0	6	0	0	6	0.00	100.00
6 Agua		1	0	0	0	0	20	0	21	4.76	95.24
7 Mosaico de cultivos		0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
255 NODATA->NODATA		0	0	0	0	0	0	0	0	100.00	0.00
Total		20	10	10	10	10	20	5	85		
Error de omisión		5.00	10.00	0.00	10.00	40.00	0.00	100.00			
Exactitud del productor		95.00	90.00	100.00	90.00	60.00	100.00	0.00			
Número total de pixeles de la capa Verdad-Terreno que podrían ser usados para la evaluación (A)		85									
Porcentaje de pixeles de la capa Verdad-Terreno que han sido clasificados (100*B/A)		100.00%									
Número de aciertos (C)		73									
Acierto global (C/A)		85.88%									
Acierto global ponderado a partir de la superficie de la capa a evaluar		86.00%									
Acierto global ponderado a partir de la superficie de las áreas Verdad-Terreno		86.62%									
Kappa		0.83									
Varianza kappa:		0.00199803									

Al contrastar los resultados de las dos clasificaciones supervisadas para el año 2020 con el algoritmo k-NN se aprecia que al añadir índices espectrales como variables de clasificación el acierto global aumenta porque este creció un 6% hasta el 91,76%.

Por lo anterior, se seleccionó la clasificación supervisada que utiliza como variables de entrada las bandas y los índices espectrales. La Ilustración 110 muestra el resultado de la clasificación supervisada del año 2020 usando las bandas y los índices espectrales como variables de clasificación.

Ilustración 110: Resultado visual de la clasificación supervisada del año 2020 usando bandas e índices espectrales



La Ilustración 111 muestra el resultado de la evaluación de incertidumbre proveniente de la clasificación supervisada correspondiente al año 2020, realizada mediante el uso de bandas e índices espectrales. La incertidumbre proporciona una indicación sobre las áreas en las que la clasificación obtiene altos niveles de certeza. Se destaca que la incertidumbre aquí mencionada no está relacionada con la calidad inherente de la clasificación en sí, sino más bien con la cantidad de categorías que compiten por la asignación de una clase final en un píxel dado.

Como se explico en el apartado (4.1.2 – Validación k-NN), cuando el valor de incertidumbre es elevado, esto sugiere que al menos dos categorías compiten de manera significativa por la asignación del píxel en cuestión. Por otro lado, cuando la incertidumbre es mínima, indica que una categoría se destaca con claridad sobre las demás, confiriéndole una ventaja considerable. En otras palabras, existe una alta confianza en que dicha categoría será la seleccionada para representar el píxel en la clasificación final.

Un ejemplo concreto de esto se puede observar en la Ilustración 111, donde las clases de agua y bosque presentan tonalidades más oscuras, indicando así su baja incertidumbre. Esto sugiere que el proceso de clasificación es altamente seguro en la asignación de estas clases. En contraste, las clases de pastos y mosaico de cultivos exhiben tonalidades más claras, reflejando una incertidumbre más elevada. Este hecho insinúa que en estas áreas específicas, dos o más categorías compiten por el dominio del píxel en cuestión.

Se puede observar en la Tabla 46 que aproximadamente el 59,72% de los píxeles presenta una baja incertidumbre, con valores menores a 0,1. Un 28,42% de los píxeles tiene una incertidumbre que se encuentra en el rango de 0,1 a 0,5 indicando cierta competencia entre categorías en estas áreas. Un 5,97% de los píxeles exhibe un nivel de incertidumbre entre 0,5 y 0,6 mientras que un 5,70% se sitúa en el rango de 0,6 a 0,7. Por último, tan solo un 0,18% de los píxeles muestra una incertidumbre más elevada, lo que sugiere una competencia significativa entre categorías en estas ubicaciones específicas.

Ilustración 111: Incertidumbre de la clasificación supervisada del año 2020 con bandas e índices espectrales

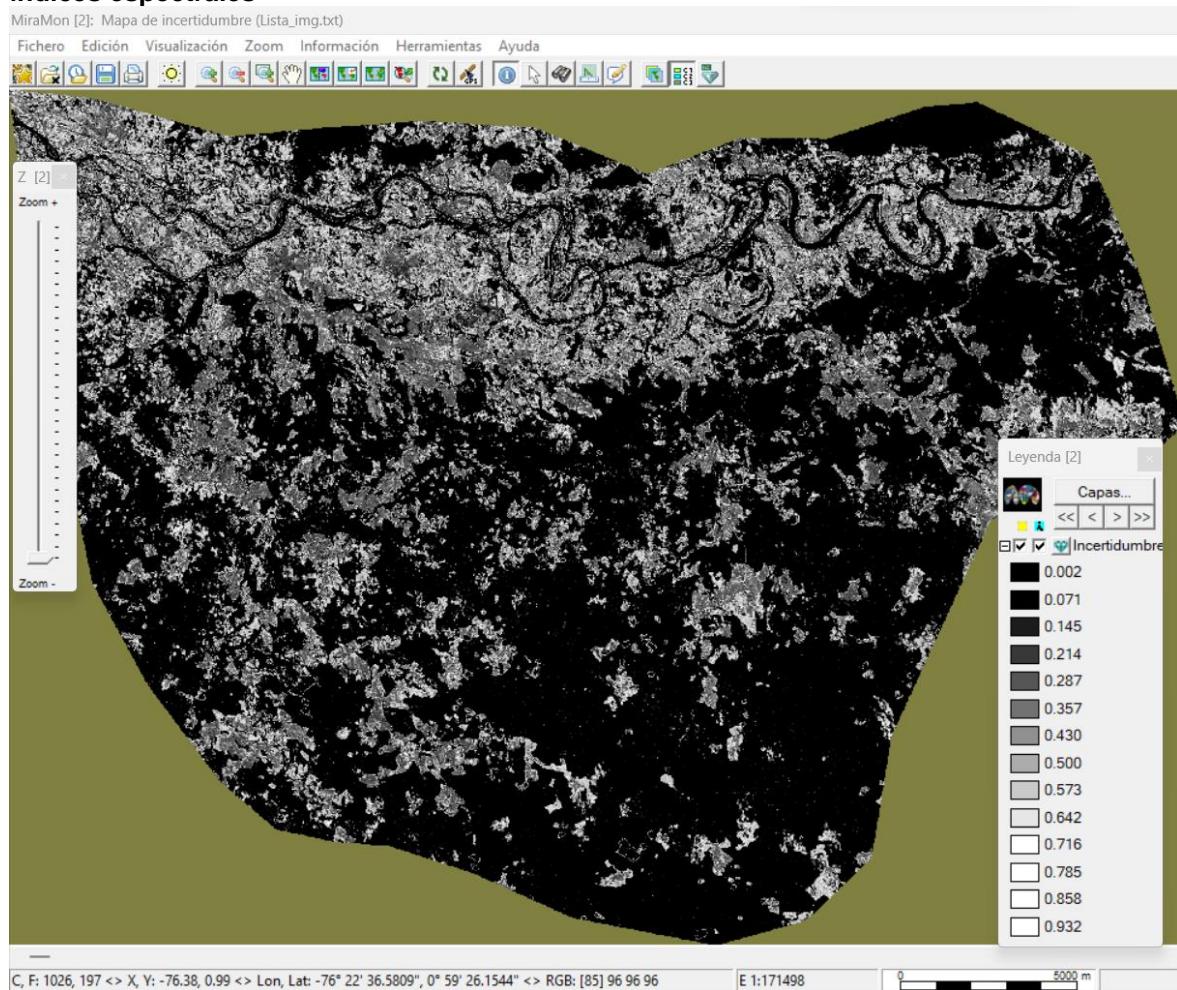


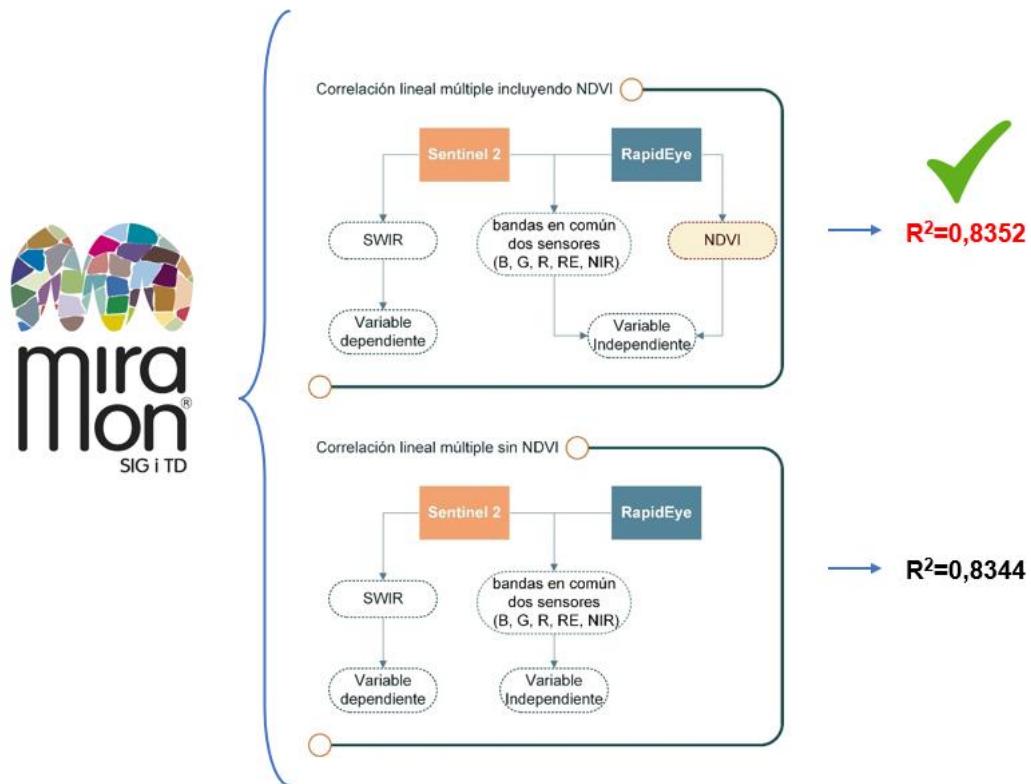
Tabla 46: Porcentajes de incertidumbre de la clasificación supervisada del año 2020 con bandas e índices espectrales

Incertidumbre 2020	Porcentaje
0,0-0,1	59,72%
0,1-0,2	3,40%
0,2-0,3	6,22%
0,3-0,4	14,22%
0,4-0,5	4,58%
0,5-0,6	5,97%
0,6-0,7	5,70%
0,7-1,0	0,18%

b) Regresión lineal múltiple SWIR

Se presentan los resultados de las dos regresiones lineales múltiples realizadas, la primera consideró la banda SWIR como variable dependiente y las bandas en común entre los dos sensores (B, G, R, RE, NIR) junto con el índice NDVI como variables independientes. El segundo, en cambio, consideró la banda SWIR como variable dependiente y las bandas en común entre los dos sensores (B, G, R, RE y NIR) como variables independientes. Se comparan los resultados de las dos regresiones lineales múltiples a partir del coeficiente de determinación (R^2) para determinar si al añadir el NDVI la regresión lineal múltiple mejora. Se halló que incluir el NDVI mejora la regresión lineal múltiple, pero fue muy pequeña la diferencia, como se muestra en la Ilustración 112.

Ilustración 112: Coeficiente de determinación de las 2 regresiones lineales múltiples



La Ilustración 113 y la Tabla 47 muestran los resultados de la regresión lineal múltiple 1: banda SWIR como variable dependiente y las bandas en común entre los dos sensores (B, G, R, RE, NIR) junto con el índice NDVI como variables independientes.

Ilustración 113: Resultado regresión lineal múltiple con variable dependiente la B11 (SWIR) e independientes B2, B3, B4, B5, B8 y NDVI

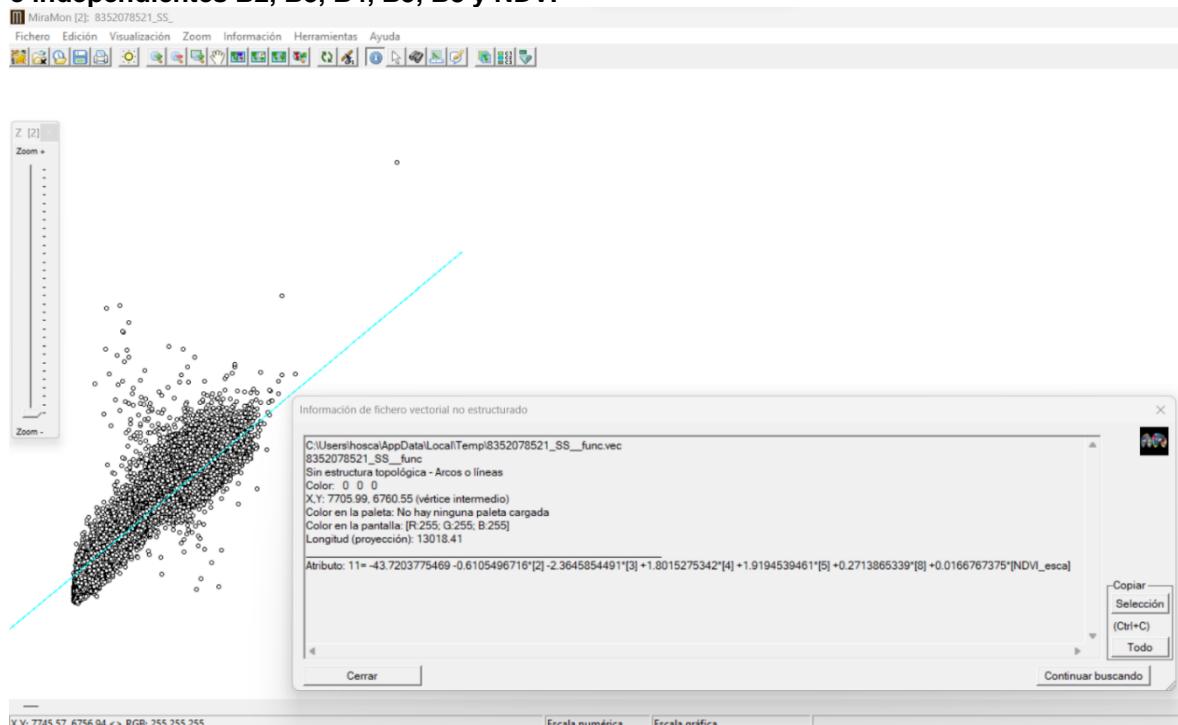


Tabla 47: Resultado regresión lineal múltiple con variable dependiente la B11 (SWIR) e independientes B2, B3, B4, B5, B8 y NDVI

VarDep=11
VarIndep=[2][3][4][5][8][NDVI_esc]
TipusAjust=L
IdEntitat=ID_GRAFIC
N=222969
Correlació=0,913897068640187
R2=0,835207852069126
RMS=186,428951397025
MitjanaErrors=5,16699536612780E-009
Termlndep=-43,7203775468871
Coef_1=-0,610549671555496
Coef_2=-2,36458544911274
Coef_3=1,80152753421964
Coef_4=1,91945394614196
Coef_5=0,271386533857714
Coef_6=0,0166767375112229
alfa=0,0500000
F=188337,8703

La Ilustración 114 y la Tabla 48 muestran los resultados de la regresión lineal múltiple 2: banda SWIR como variable dependiente y las bandas en común entre los dos sensores (B, G, R, RE y NIR) como variables independientes

Ilustración 114: Resultado de la regresión lineal múltiple usando como variable dependiente la B11 (SWIR) y como variables independientes las bandas B2, B3, B4, B5, B8

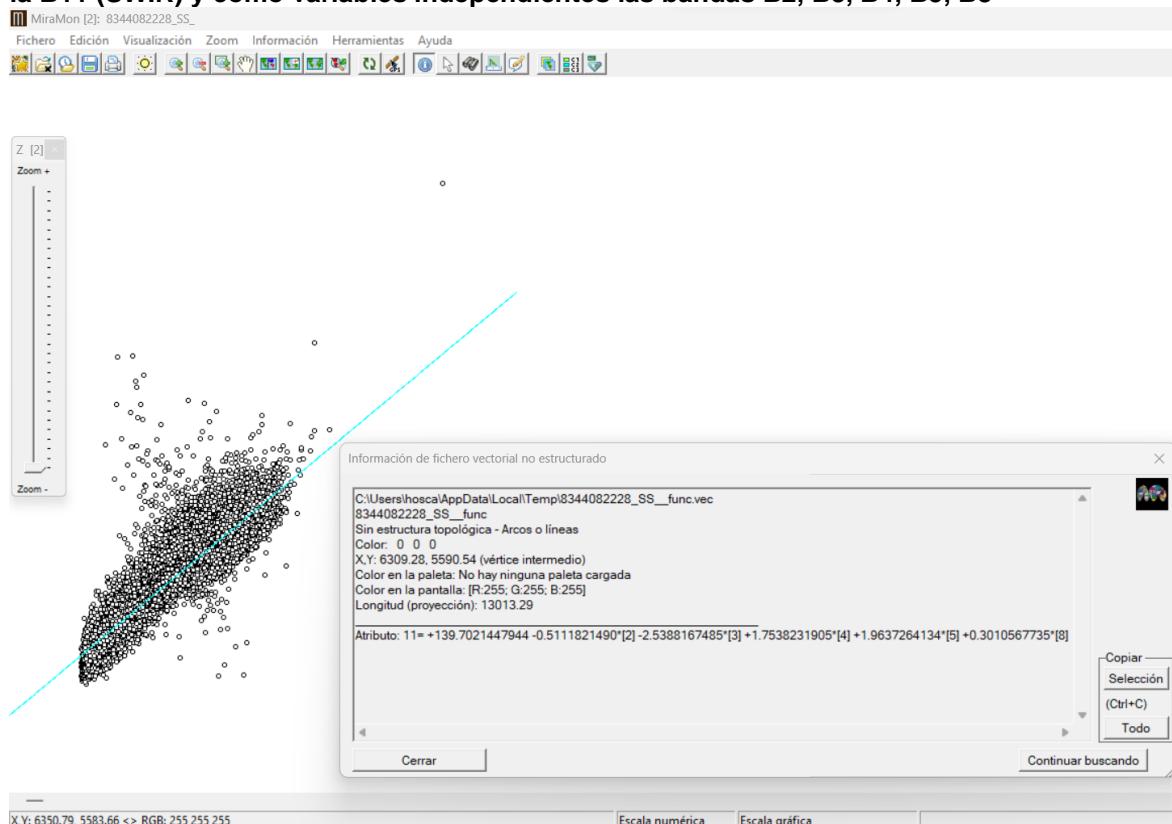


Tabla 48: Resultado de la regresión lineal múltiple usando como variable dependiente la B11 (SWIR) y como variables independientes las bandas B2, B3, B4, B5, B8

VarDep=11
VarIndep=[2][3][4][5][8]
TipusAjust=L
IdEntitat=ID_GRAFIC
N=222969
Correlació=0,913459480656829
R2=0,834408222801844
RMS=186,880713345015
MitjanaErrors=1,16366238486052E-009
TermIndep=139,702144794427
Coef_1=-0,511182148993306
Coef_2=-2,53881674845431
Coef_3=1,75382319048985
Coef_4=1,96372641341123
Coef_5=0,301056773459429
alfa=0,0500000
F=224699,7571

El coeficiente de determinación múltiple R^2 de las dos regresiones lineales múltiples fueron superiores a 0,8 que significa que el modelo ajustado predice a la variable independiente, es decir la similitud entre la imagen sintética y la real es alta. Ahora bien, la diferencia entre la regresión 1, que tuvo en cuenta el NDVI (0,8352), fue ligeramente mayor en contraste la regresión lineal 2 que no tuvo en cuenta el NDVI (0,8344). Por lo tanto, se seleccionó el modelo de la regresión 1 para generar la banda sintética del SWIR para el año 2010.

c) Validación de la clasificación supervisada del año 2010

Se presentan los resultados de validación de las dos clasificaciones supervisadas usando el algoritmo k-NN para el año 2010. La primera incluía las bandas propias del sensor RapidEye (B,G,R,RE,NIR), el índice NDVI, la banda sintética SWIR y los índices NDWI y NDBI como variables de entrada (Tabla 49) y la segunda clasificación solo se usó como variables de entrada las bandas propias del sensor RapidEye (B,G,R,RE,NIR) y el índice NDVI (Tabla 50).

Con el objetivo de determinar si al añadir los datos artificiales la clasificación mejora se comparan los resultados de validación k-NN entre estas dos clasificaciones.

Tabla 49: Resultados de la validación de la clasificación supervisada del año 2010 usando como variables de clasificación las bandas propias del sensor RapidEye (B, G, R, RE, NIR), el índice NDVI, la banda sintética SWIR y los índices NDWI y NDBI

Tabla de frecuencia de ocurrencias (celdas)		1	2	3	4	5	6	7				
		Bosque	Zonas arenosas	Tierra desnuda	Pastos	Zonas urbanas	Aqua	Mosaico de cultivos	Total	Error de comisión	Exactitud del usuario	
1	Bosque	14	0	0	1	0	0	1	16	12.50	87.50	
2	Zonas arenosas	0	9	1	0	0	1	0	11	18.18	81.82	
3	Tierra desnuda	0	0	8	0	1	0	0	9	11.11	88.89	
4	Pastos	0	0	1	12	2	0	0	15	20.00	80.00	
5	Zonas urbanas	0	0	0	0	2	0	0	2	0.00	100.00	
6	Aqua	0	2	0	0	0	15	0	17	11.76	88.24	
7	Mosaico de cultivos	1	0	0	0	0	0	4	5	20.00	80.00	
	255 NODATA->NODATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.00	0.00
Total		15	11	10	13	5	16	5	75			
Error de omisión		6.67	18.18	20.00	7.69	60.00	6.25	20.00				
Exactitud del productor		93.33	81.82	80.00	92.31	40.00	93.75	80.00				
Número total de píxeles de la capa Verdad-Terreno que podrían ser usados para la evaluación (A)		75										
Porcentaje de píxeles de la capa Verdad-Terreno que han sido clasificados (100*B/A)		100.00%										
Número de aciertos (C)		64										
Acierto global (C/A)		85.33%										
Acierto global ponderado a partir de la superficie de la capa a evaluar		86.19%										
Acierto global ponderado a partir de la superficie de las áreas Verdad-Terreno		85.31%										
Kappa		0.82										
Varianza kappa:		0.00237382										

La Tabla 49 muestra los resultados de validación al usar las bandas propias del sensor RapidEye (B,G,R,RE,NIR), el índice NDVI, la banda sintética SWIR y los índices NDWI y NDBI como variables de clasificación. En este caso, el error de comisión más alto lo tienen las categorías de pastos con 20% y mosaico de cultivos con 20%, mientras que el error de omisión más alto lo tiene la categoría de zonas urbanas con 60%. El acierto global fue de 85.33%, el Acierto global ponderado a partir de la superficie de la capa a evaluar fue de 86,19% y el Acierto global ponderado a partir de la superficie de las áreas Verdad-Terreno fue de 85,31%. Sobre Kappa fue de 0,82, indicando un alto nivel de precisión y confiabilidad en la clasificación realizada.

Tabla 50: Resultados de la validación de la clasificación supervisada del año 2010 usando como variables de clasificación solo las bandas propias del sensor RapidEye (B, G, R, RE, NIR) y el índice NDVI

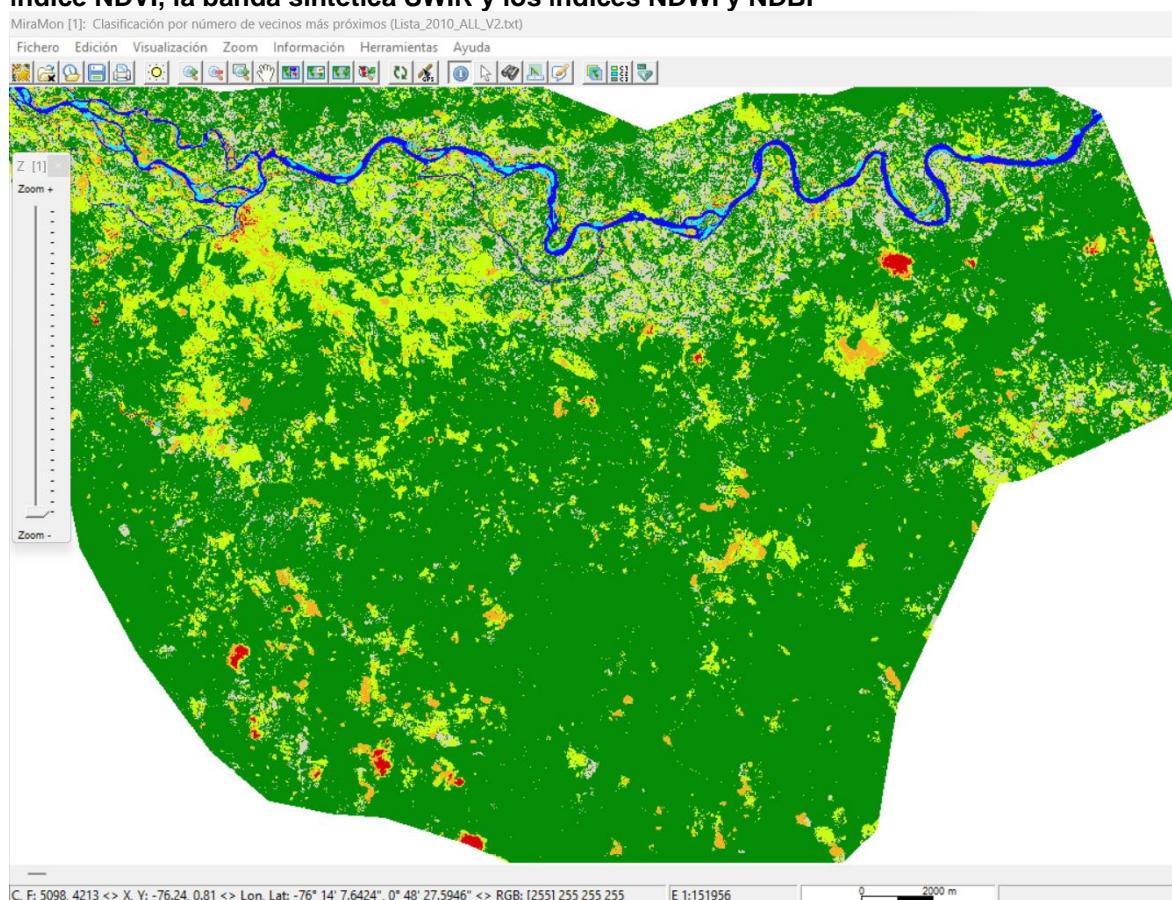
Tabla de frecuencia de ocurrencias (celdas)		1	2	3	4	5	6	7			
	Bosque	Zonas arenosas	Tierra desnuda	Pastos	Zonas urbanas	Agua	Mosaico de cultivos	Total	Error de comisión	Exactitud del usuario	
1 Bosque	13	0	0	1	0	0	0	14	7.14	92.86	
2 Zonas arenosas	0	9	1	0	1	1	0	12	25.00	75.00	
3 Tierra desnuda	0	0	8	0	0	0	0	8	0.00	100.00	
4 Pastos	2	0	1	12	2	0	1	18	33.33	66.67	
5 Zonas urbanas	0	0	0	0	2	0	0	2	0.00	100.00	
6 Agua	0	2	0	0	0	15	0	17	11.76	88.24	
7 Mosaico de cultivos	0	0	0	0	0	0	4	4	0.00	100.00	
255 NODATA->NODATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.00	
Total	15	11	10	13	5	16	5	75			
Error de omisión	13.33	18.18	20.00	7.69	60.00	6.25	20.00				
Exactitud del productor	86.67	81.82	80.00	92.31	40.00	93.75	80.00				
Número total de pixeles de la capa Verdad-Terreno que podrían ser usados para la evaluación (A)	75										
Porcentaje de pixeles de la capa Verdad-Terreno que han sido clasificados (100*B/A)	100.00%										
Número de aciertos (C)	63										
Acierto global (C/A)	84.00%										
Acierto global ponderado a partir de la superficie de la capa a evaluar	88.21%										
Acierto global ponderado a partir de la superficie de las áreas Verdad-Terreno	81.49%										
Kappa	0.81										
Varianza kappa:	0.00256627										

La Tabla 50 muestra los resultados de la validación de la clasificación supervisada del año 2010 usando las bandas propias del sensor RapidEye (B,G,R,RE,NIR) y el índice NDVI. En este caso, el error de comisión más alto lo tienen las categorías de pastos con 33,33% y zonas arenosas con 25%, mientras que el error de omisión más alto tiene la categoría de zonas urbanas con 60%. El acierto global fue de 84% mientras que el Acierto global ponderado a partir de la superficie de la capa a evaluar fue de 88,21% y el Acierto global ponderado a partir de la superficie de las áreas Verdad-Terreno fue de 81,49%. Sobre

Kappa fue de 0,81, indicando un alto nivel de precisión y confiabilidad en la clasificación realizada.

Los resultados de validación al usar las bandas propias del sensor RapidEye (B,G,R,RE,NIR) y el índice NDVI (84% de acierto global) fueron menores en 1,3% en comparación al usar las bandas en común con la banda artificial SWIR y los índices espectrales NDWI y NDBI que fue de 85,33% de acierto global. Por lo tanto, se seleccionó la clasificación con el acierto global más alto (Ilustración 115).

Ilustración 115: Resultado visual de la clasificación supervisada del año 2010 usando como variables de clasificación las bandas propias del sensor RapidEye (B, G, R, RE, NIR), el índice NDVI, la banda sintética SWIR y los índices NDWI y NDBI



La Ilustración 116 muestra el resultado de la incertidumbre de la clasificación supervisada del año 2010 con bandas e índices espectrales.

Al igual que el ráster de incertidumbre del año 2020 (Ilustración 111), para el año 2010 en la (Ilustración 116) se puede observar que la clase de agua y bosque tienen tonalidades oscuras, lo que significa que su incertidumbre es baja, mientras que las clases de pastos y mosaico de cultivos tienen tonalidades las claras, es decir su incertidumbre es alta, por lo tanto, hay 2 o más categorías compitiendo para quedarse con los píxeles. En la Tabla 51 se aprecia que aproximadamente el 69,07% de los píxeles presenta una baja

incertidumbre, con valores menores a 0,1. Un 24,58% de los píxeles tiene una incertidumbre que se encuentra en el rango de 0,1 a 0,5 indicando cierta competencia entre categorías en estas áreas. Un 4,33% de los píxeles exhibe un nivel de incertidumbre entre 0,5 y 0,6 mientras que un 1,99% se sitúa en el rango de 0,6 a 0,7. Por último, tan solo un 0,03% de los píxeles muestra una incertidumbre más elevada, lo que sugiere una competencia significativa entre categorías en estas ubicaciones específicas.

Ilustración 116: Incertidumbre de la clasificación supervisada del año 2010 usando como variables de clasificación las bandas propias del sensor RapidEye (B, G, R, RE, NIR), el índice NDVI, la banda sintética SWIR y los índices NDWI y NDBI

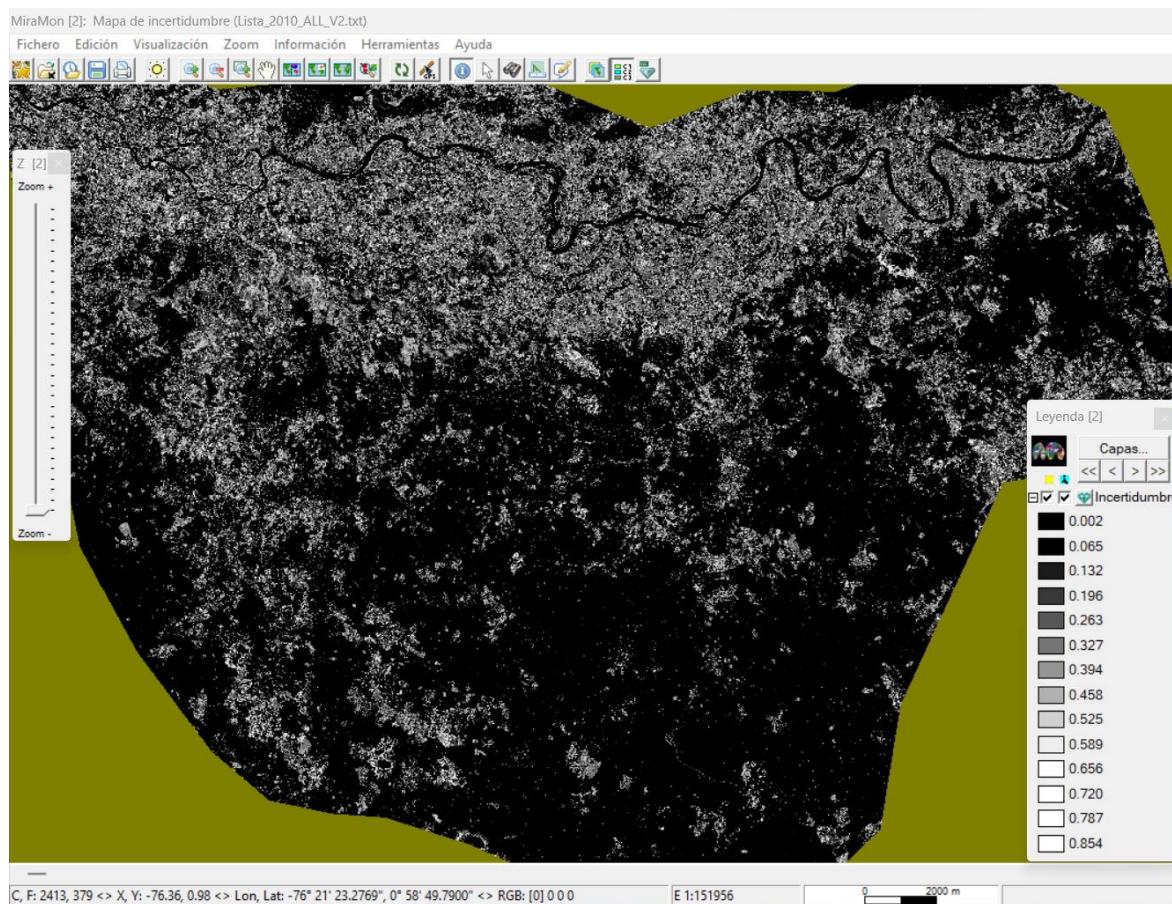


Tabla 51: Porcentajes de la incertidumbre de la clasificación supervisada del año 2010 usando como variables de clasificación las bandas propias del sensor RapidEye (B, G, R, RE, NIR), el índice NDVI, la banda sintética SWIR y los índices NDWI y NDBI

Incertidumbre 2010	Porcentaje
0,0-0,1	69,07%
0,1-0,2	3,97%
0,2-0,3	6,05%
0,3-0,4	9,82%
0,4-0,5	4,74%
0,5-0,6	4,33%
0,6-0,7	1,99%
0,7-1,0	0,03%

5.1.1.3 Contraste de clasificadores

La Ilustración 117 e Ilustración 118 muestran de forma simultánea los resultados de la ejecución de las clasificaciones supervisadas con los dos algoritmos de clasificación para cada año. Detalla el número de variables de entrada por clasificación y los resultados se expresan en forma de la precisión general (PG) y el coeficiente Kappa para aquellas que fueron obtenidas a través de GEE, mientras que los resultados de las clasificaciones en MiraMon se expresan en: 1) Acierto global, 2) Acierto global ponderado a partir de la superficie de la capa a evaluar, 3) Acierto global ponderado a partir de la superficie de las áreas Verdad-Terreno y 4) Kappa.

La Ilustración 117 muestra los resultados de las clasificaciones supervisadas para el año 2020. En este caso el acierto global del algoritmo k-NN fue de 91,76%, es decir más alto en comparación al obtenido al usar el algoritmo Random Forest en GEE (90,58%). La Ilustración 118 muestra los resultados de las clasificaciones supervisadas para el año 2010, el acierto global tanto para el algoritmo Random Forest y el algoritmo k-NN fue igual con un 85,33%. Por lo anterior se seleccionó los resultados del algoritmo k-NN para la generación de coberturas tanto para el año 2020 y 2010.

La diferencia entre los dos algoritmos fue ligera por lo cual se recomienda replicar esta metodología a otra superficie en la cual se cuente con más muestras para entrenar y validar los clasificadores usados. Ya que el área de estudio de la presente investigación se tuvo limitaciones de acceso.

Ilustración 117: Clasificaciones supervisadas aplicadas a imágenes Año 2020

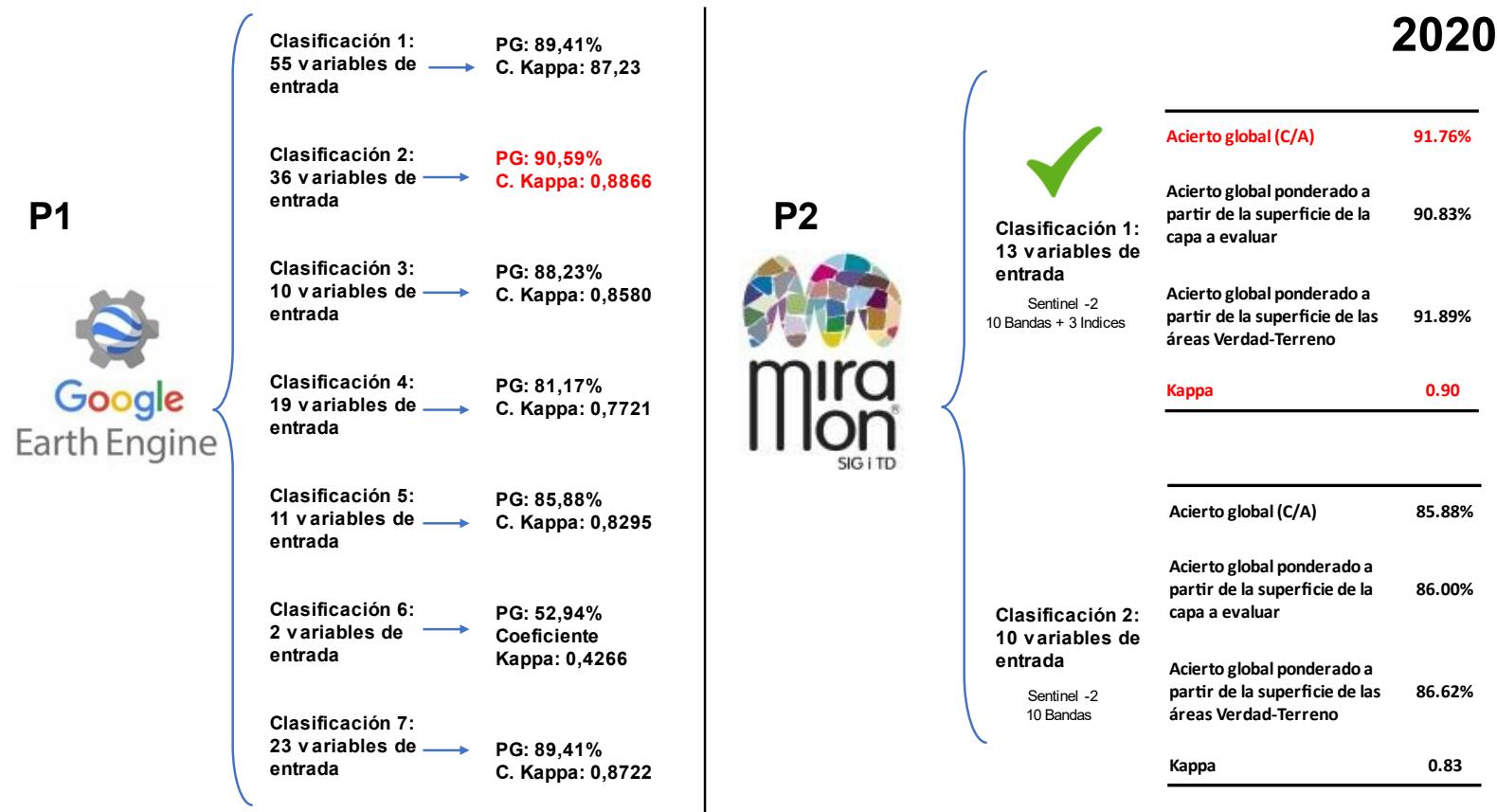
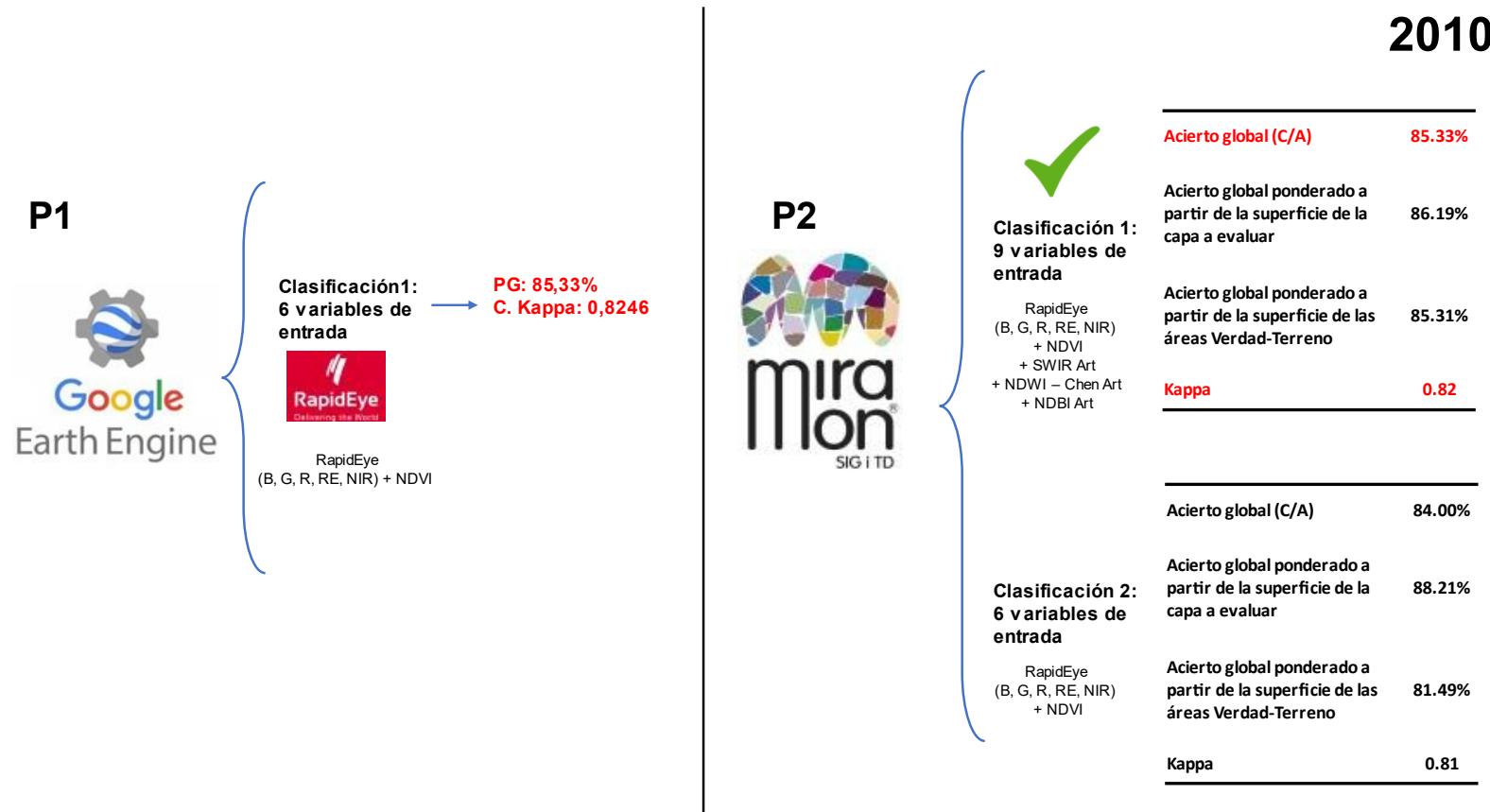


Ilustración 118: Clasificaciones supervisadas aplicadas a imágenes Año 2010



5.1.2 Mapas de coberturas, análisis multitemporal de cambios y fragmentación

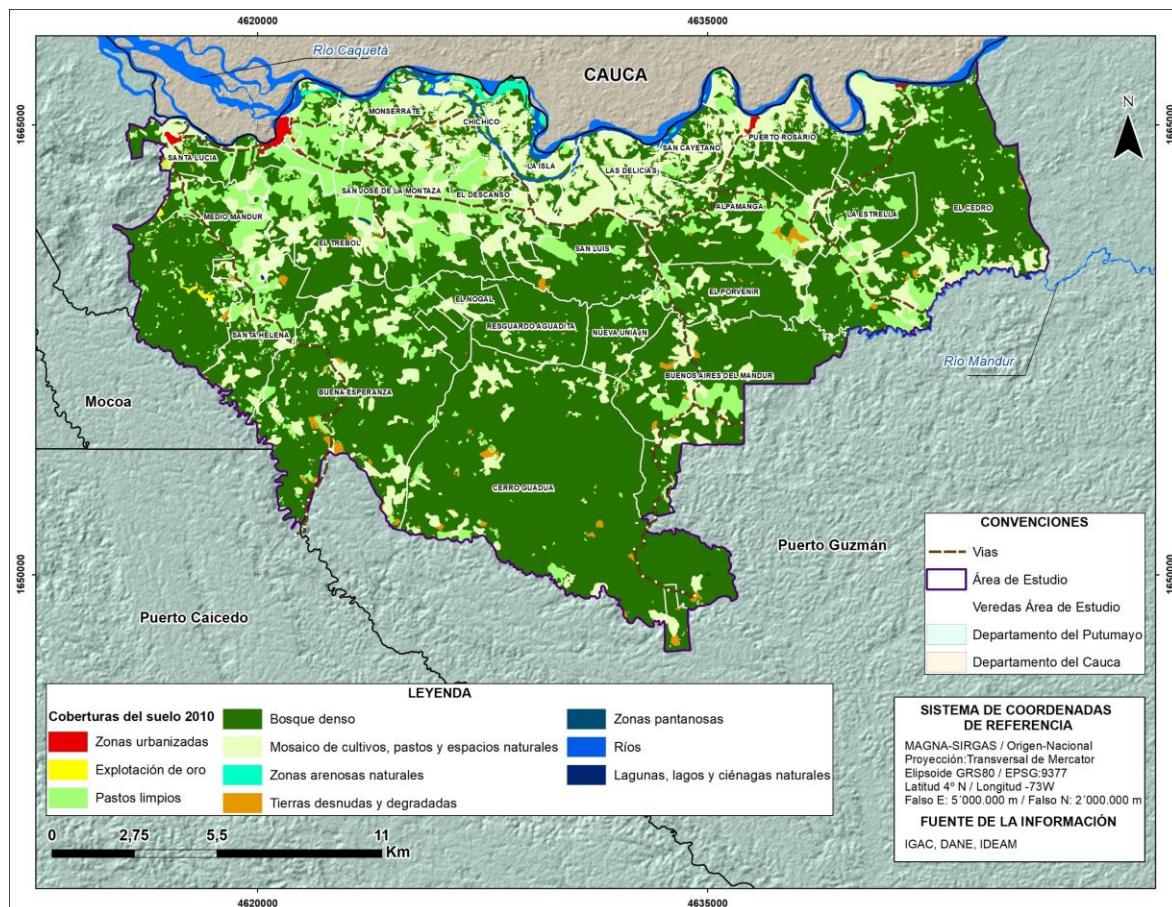
Ya con los mapas de cobertura para cada año de estudio, era necesario determinar el cambio de coberturas. Estos resultados, juntamente con el análisis de fragmentación se consignan en este apartado.

Para ello, el apartado 5.1.2.1 presenta los resultados de las tablas de frecuencias y los mapas de coberturas para los años 2010 – 2020, el apartado 5.1.2.2 muestra los resultados del análisis multitemporal de cambio de coberturas y el apartado 5.1.2.3 muestra los resultados del análisis de fragmentación.

5.1.2.1. Mapas de coberturas 2010, 2020 y tabla de frecuencias

A continuación, se presentan los mapas escala 1:25.000 de los años 2010 (Ilustración 119) y 2020 (Ilustración 120) para el área de estudio. Las coberturas en el 2010 para el área de estudio eran predominantemente bosque denso con un 66,89% de ocupación, seguido del Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales en una extensión de 18,53% y pastos limpios en un 11,66% del área.

Ilustración 119: Mapa de coberturas 2010 escala 1:25.000



En la Tabla 52 se relaciona las áreas de cada cobertura identificada y el porcentaje ocupado respecto al total del área de estudio para el año 2010.

Tabla 52: Frecuencia coberturas 2010

NRO_2010	COD_CLC	COBERTURAS AÑO 2010	ÁREA (ha)	%
01A	1.1.	Zonas urbanizadas	94,53	0,28%
02A	1.3.1.4.	Explotación de oro	32,32	0,09%
03A	2.3.1.	Pastos limpios	3.970,68	11,66%
04A	2.4.3.	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	6.312,17	18,53%
05A	3.1.1.	Bosque denso	22.779,31	66,89%
06A	3.2.3.	Vegetación secundaria o en transición	0,00	0,00%
07A	3.3.1.	Zonas arenosas naturales	138,88	0,41%
08A	3.3.3.	Tierras desnudas y degradadas	289,69	0,85%
09A	4.1.1.	Zonas pantanosas	3,97	0,01%
10A	5.1.1.	Ríos	431,53	1,27%
11A	5.1.2.	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	2,38	0,01%
12A	5.1.4.3.	Estanques para acuicultura continental	0,00	0,00%
		TOTAL	34.055,45	100,00%

Se puede evidenciar que en el área de estudio la zona urbanizada representa el 0,28% para el año 2010, que corresponde la cabecera municipal y centros poblados el municipio de Puerto Guzmán. En este año la actividad minera (explotación de oro) representó el 0,09%. La presencia de pastos limpios fue de un 11,66% y de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales un 18,53%. La extensión más importante era la de bosque natural (66,89%), que visualmente se apreciaba que aún poseía un nivel de conectividad importante, dato que será validado con la fragmentación.

Las áreas tierras desnudas y degradadas eran bajas (0,85%), pero la degradación estaba presentando daños a tal nivel que ya podían identificarse desde el satélite. Esta categoría se atribuye a causas antrópicas, mientras que zonas arenosas naturales (0,41%), zonas pantanosas (0,01%), ríos (1,27%), y lagunas, lagos y ciénagas naturales (0,01%) son elementos naturales del territorio.

Como se explicó en el apartado 4.1.3 (*Ajuste y mejora de las coberturas identificadas*), la vegetación secundaria o en transición se registra como cero para el año 2010 debido a que su firma espectral es similar a la del bosque. Con el objetivo de mantener la objetividad en la identificación, se consideró únicamente para el año 2020 en aquellas áreas que no eran bosque en 2010 y que presentaron cobertura forestal en 2020. En cuanto a los estanques destinados a la acuicultura continental, su valor también se registra como cero, ya que no fueron identificados en el año 2010.

En la Ilustración 120 se presentan las coberturas a escala 1:25.000 del año 2020 y en la Tabla 53 el consolidado de coberturas con sus correspondientes áreas de frecuencias del año 2020.

Ilustración 120: Mapa de coberturas 2020 escala 1:25.000

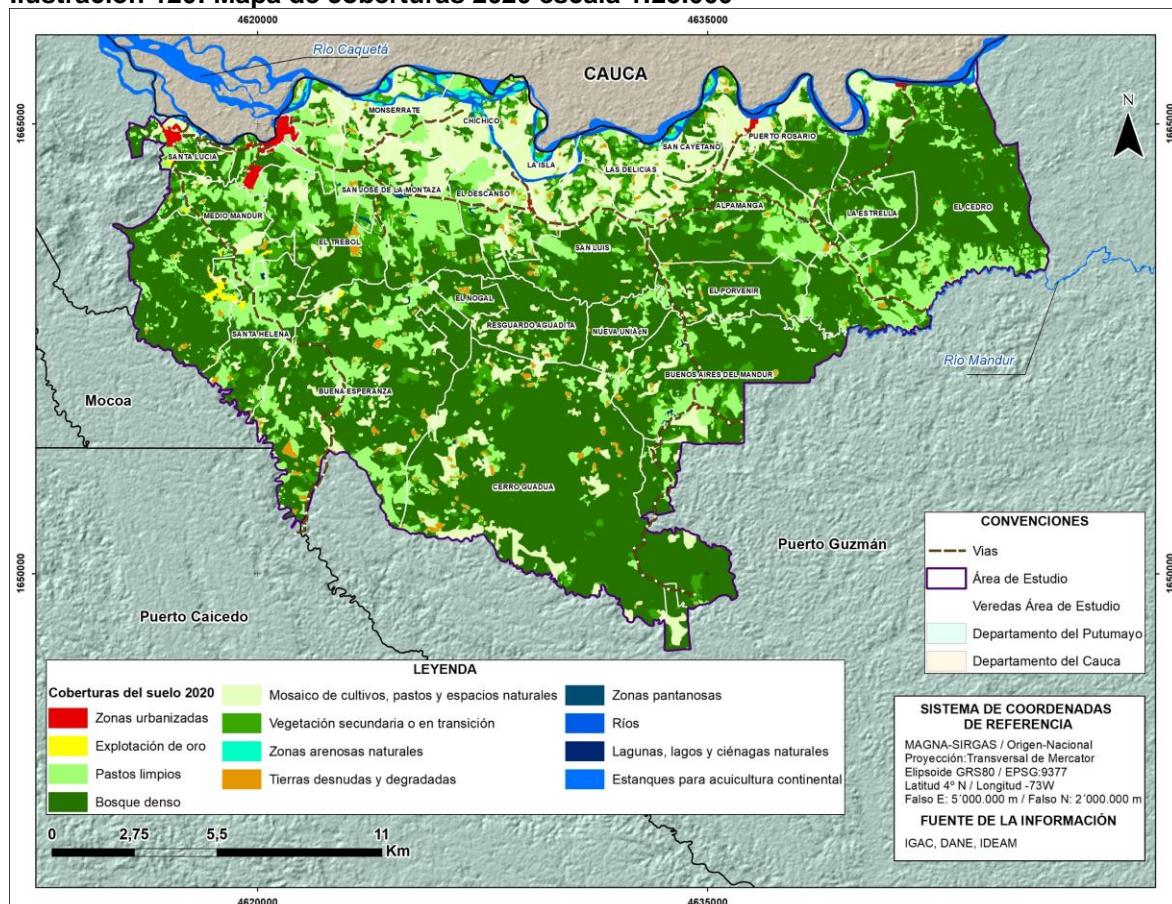


Tabla 53: Frecuencia coberturas 2020

NRO_2020	COD_CLC	COBERTURAS AÑO 2020	ÁREA (HA)	%
01B	1.1.	Zonas urbanizadas	203,56	0,60%
02B	1.3.1.4.	Explotación de oro	87,58	0,26%
03B	2.3.1.	Pastos limpios	6.150,73	18,06%
04B	2.4.3.	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	4.249,44	12,48%
05B	3.1.1.	Bosque denso	19.186,87	56,34%
06B	3.2.3.	Vegetación secundaria o en transición	3.007,97	8,83%
07B	3.3.1.	Zonas arenosas naturales	180,46	0,53%
08B	3.3.3.	Tierras desnudas y degradadas	469,35	1,38%
09B	4.1.1.	Zonas pantanosas	26,21	0,08%
10B	5.1.1.	Ríos	477,98	1,40%
11B	5.1.2.	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	12,14	0,04%
12B	5.1.4.3.	Estanques para acuicultura continental	3,18	0,01%
			TOTAL	34.055,45
				100,00%

Para el 2020 se tiene predominio de bosque denso con el 56,34%, pastos limpios con el 18,06%, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales con el 12,48%, y vegetación secundaria o en transición con el 8,83%. Respecto a zonas urbanizadas representan el 0,60%, la actividad minera (explotación de oro) con 0,26%, las tierras desnudas y degradadas con el 1,38% y los estanques para acuicultura continental con el 0,01%. Por último, están las zonas arenosas naturales con el 0,53%; zonas pantanosas con el 0,08%, ríos con el 1,40%, lagunas, lagos y ciénagas naturales con el 0,04%.

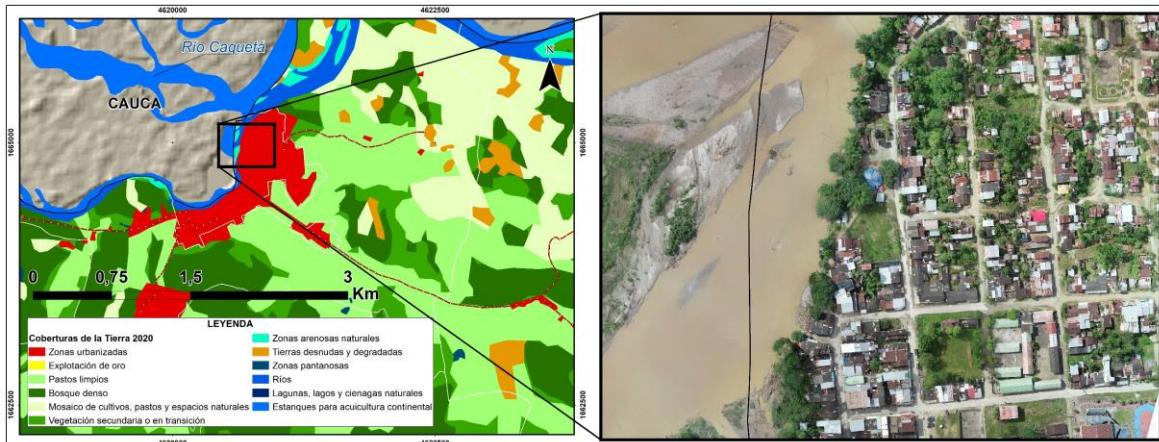
En la Tabla 54 se relacionan los cambios de cobertura entre el 2010 y el 2020.

Tabla 54: Cambios de cobertura en ha

NRO	COD_CLC	COBERTURAS	CAMBIOS 2010 - 2020 (ha)	%
01B	1.1.	Zonas urbanizadas	109,03	0,32%
02B	1.3.1.4.	Explotación de oro	55,26	0,16%
03B	2.3.1.	Pastos limpios	2.180,06	6,40%
04B	2.4.3.	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	-2.062,73	-6,06%
05B	3.1.1.	Bosque denso	-3.592,43	-10,55%
06B	3.2.3.	Vegetación secundaria o en transición	3.007,97	8,83%
07B	3.3.1.	Zonas arenosas naturales	41,58	0,12%
08B	3.3.3.	Tierras desnudas y degradadas	179,65	0,53%
09B	4.1.1.	Zonas pantanosas	22,23	0,07%
10B	5.1.1.	Ríos	46,44	0,14%
11B	5.1.2.	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	9,76	0,03%
12B	5.1.4.3.	Estanques para acuicultura continental	3,18	0,01%

La cobertura de bosque denso fue la que más cambió en el área de estudio durante el 2010 al 2020 con una pérdida de 3.592,43 ha, pasando de 22.779,31 ha en el 2010 a 19.186,87 ha en el 2020, lo que representan el 10,55%. Le sigue la cobertura de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales que pasó de 6.312,17 ha en el 2010 a 4.249,44 ha en el 2020 lo que significa una pérdida del 6,06%. En cambio, la cobertura de pastos limpios tuvo una ganancia de 6,40%, las zonas urbanizadas (Ilustración 121) ganaron 109,03 ha (0,32%), y la explotación de oro ganó 55,26 ha (0,16%), pasando de 32,32 ha a 87,58 ha en un lapso de 10 años.

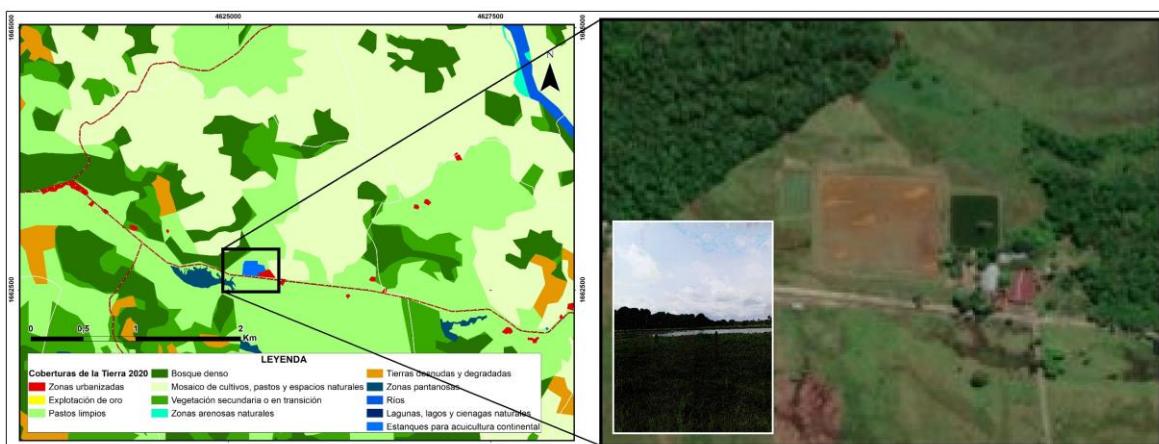
Ilustración 121: Zona urbana y arenales



Las tierras desnudas y degradadas pasaron de 289,69 ha a 477,98 ha, es decir la degradación aumento 179,65 ha (0,53%). Es importante destacar que esta cobertura es de transición, debido a que la etapa durante la cual el suelo permanece sin cobertura es un periodo corto, es una etapa intermedia en los cambios de coberturas.

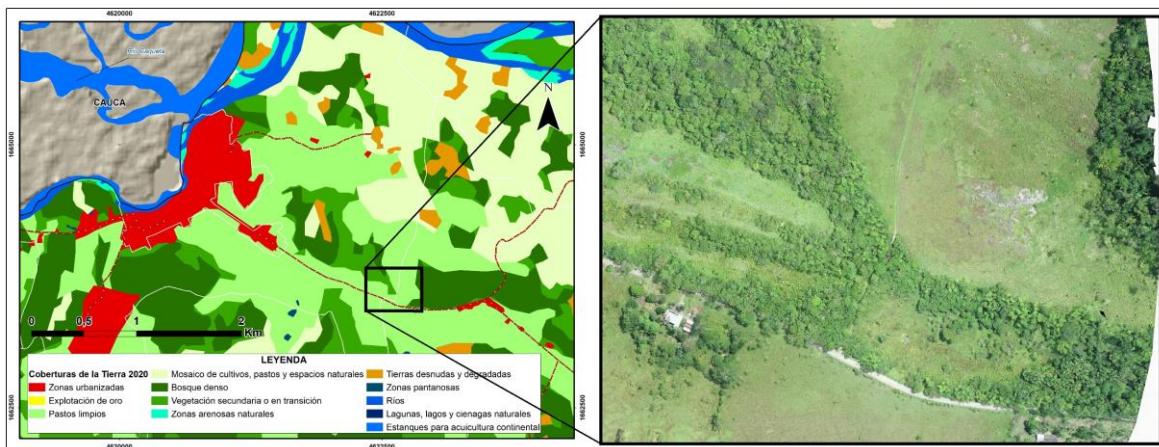
También se incrementaron las zonas arenosas naturales (41,58 ha - 0,12%), las zonas pantanosas (22,23 ha – 0,07%), las lagunas, lagos y ciénagas naturales (9,43 ha – 0,03%), estanques para acuicultura continental (3,18 ha – 0,01%) y los ríos (46,44 ha – 0,14%). La Ilustración 122 muestra estanques de acuicultura en el área de estudio.

Ilustración 122: Estanques de piscicultura



La Ilustración 123 muestra a través de una fotografía tomada con RPAS las coberturas de bosque, pasos y vegetación secundaria.

Ilustración 123: Cobertura pastos - bosque – vegetación secundaria



5.1.2.2. Matriz y categorías de cambios de coberturas

Ya teniendo identificado y cuantificado el cambio de cobertura, es preciso discernir en qué se transformó cada una, para esto se realizó una matriz de cambio de cobertura en el área de estudio entre el 2010 y el 2020. Y para facilitar la interpretación de los resultados se utilizaron categorías de cambio de coberturas.

a) Matriz de cambio de coberturas 2010 – 2020

El cambio de cobertura del suelo se determinó utilizando una matriz de cambio que consiste en una tabla simétrica de doble entrada, ubicándose en cada celda la superficie de coberturas que experimentaron cambios entre el período 2010 y 2020 como se explicó en el apartado 4.1.4 (*Análisis multitemporal de cambio de coberturas*).

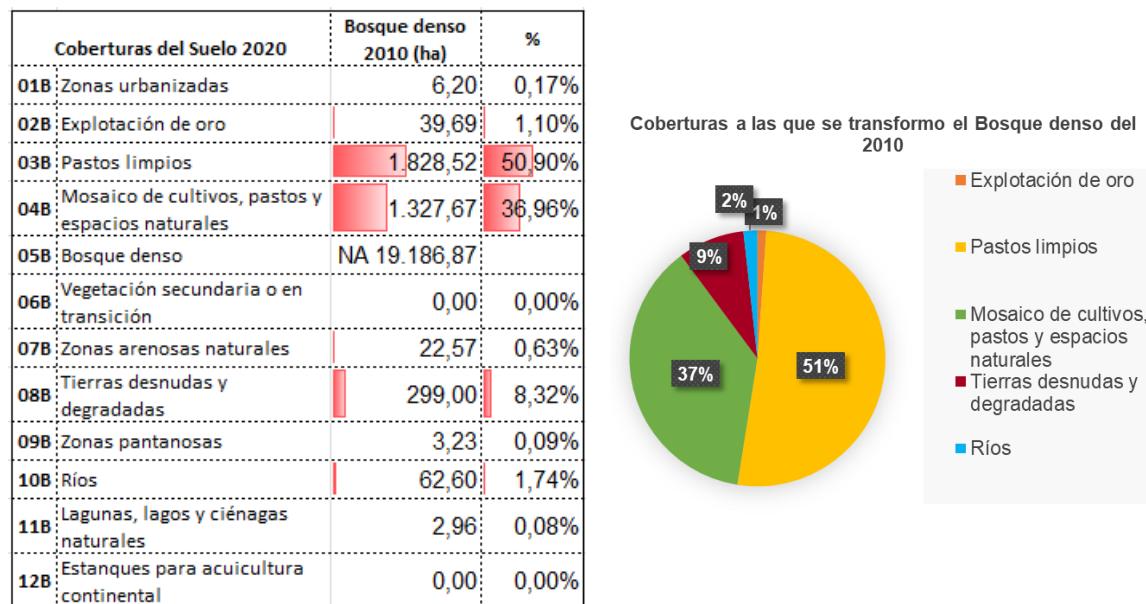
En la Tabla 55 se relaciona la matriz para la definición de los cambios de coberturas fruto de la intersección, es decir, se muestra el cambio de cada cobertura y en lo que fue transformada, las filas corresponden al año 2010, las columnas al 2020 y la diagonal corresponde a lo que no ha cambiado.

Tabla 55: Matriz de cambio de coberturas

Nro.	Coberturas del Suelo 2010 (ha)	Coberturas del Suelo 2020 (ha)												Área Total (ha)
		01B	02B	03B	04B	05B	06B	07B	08B	09B	10B	11B	12B	
01A	Zonas urbanizadas	88,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	5,66	0,00	0,00	94,53
02A	Explotación de oro	0,00	10,11	6,17	0,00	0,00	16,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,32
03A	Pastos limpios	45,56	14,93	2.469,56	509,98	0,00	837,72	13,68	37,81	17,05	18,10	3,25	3,03	3.970,68
04A	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	63,00	21,52	1.712,39	2.289,43	0,00	1.944,25	27,89	118,49	1,96	129,70	3,38	0,15	6.312,17
05A	Bosque denso	6,20	39,69	1.828,52	1.327,67	19.186,87	0,00	22,57	299,00	3,23	62,60	2,96	0,00	22.779,31
06A	Vegetación secundaria o en transición	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07A	Zonas arenosas naturales	0,00	0,00	19,13	24,78	0,00	43,52	21,05	2,63	0,00	27,76	0,00	0,00	138,88
08A	Tierras desnudas y degradadas	0,02	1,33	93,71	66,45	0,00	115,34	0,57	10,14	0,00	1,97	0,16	0,00	289,69
09A	Zonas pantanosas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,97	0,00	0,00	0,00	3,97
10A	Ríos	0,01	0,00	21,24	31,12	0,00	51,09	94,61	1,27	0,00	232,18	0,00	0,00	431,53
11A	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,38	0,00	0,00	2,38
12A	Estanques para acuicultura continental	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Área Total (ha)		203,56	87,58	6.150,73	4.249,44	19.186,87	3.007,97	180,46	469,35	26,21	477,98	12,14	3,18	34.055,45

En la Ilustración 124 se detalla las coberturas en las que se transformaron los bosques del área de estudio. Los mayores cambios de bosque denso son a pastos limpios con un 50,90%, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales con 36,96%, tierras desnudas y degradadas con 8,32% y un 1,74% pasó a ríos.

Ilustración 124: Coberturas en las que se transformó el bosque



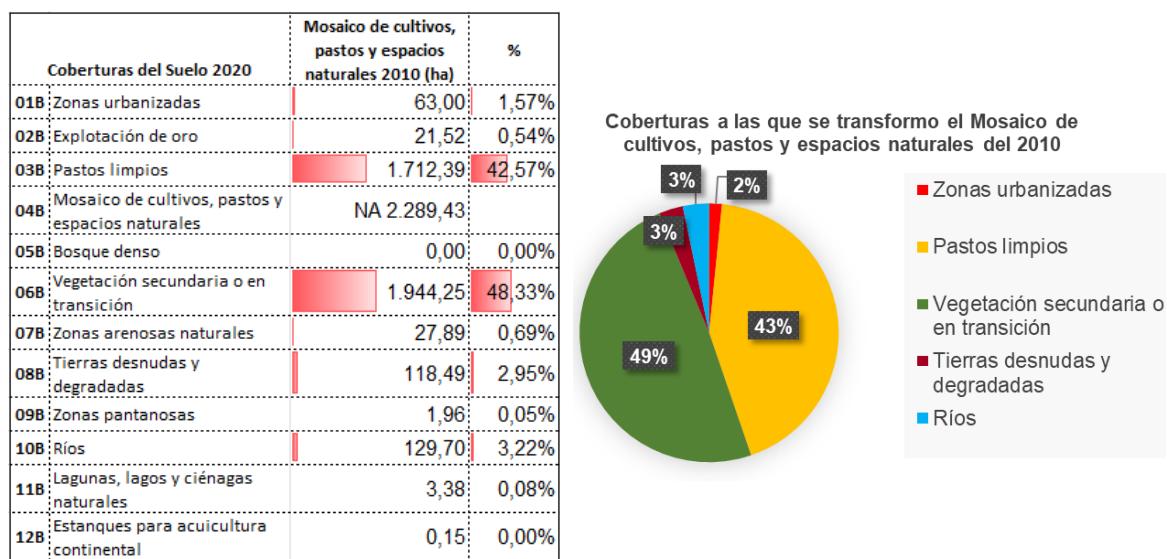
La Ilustración 125 es una fotografía de la cobertura de bosque.

Ilustración 125: Bosques



En la Ilustración 126 se destacan las principales coberturas en las que se transformó el mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales. De esta cobertura, el 48,33% pasó a vegetación secundaria o en transición, el 42,57% a pastos limpios, el 2,95% a tierras desnudas y degradadas, el 1,57% a zonas urbanizadas y un 3,22% a ríos.

Ilustración 126: Coberturas en las que se transformó el Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales



La Ilustración 127 y la Ilustración 128 muestran fotografías de la cobertura de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales y la Ilustración 129 muestra una fotografía de la cobertura de vegetación secundaria o en transición.

Ilustración 127: Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales 1

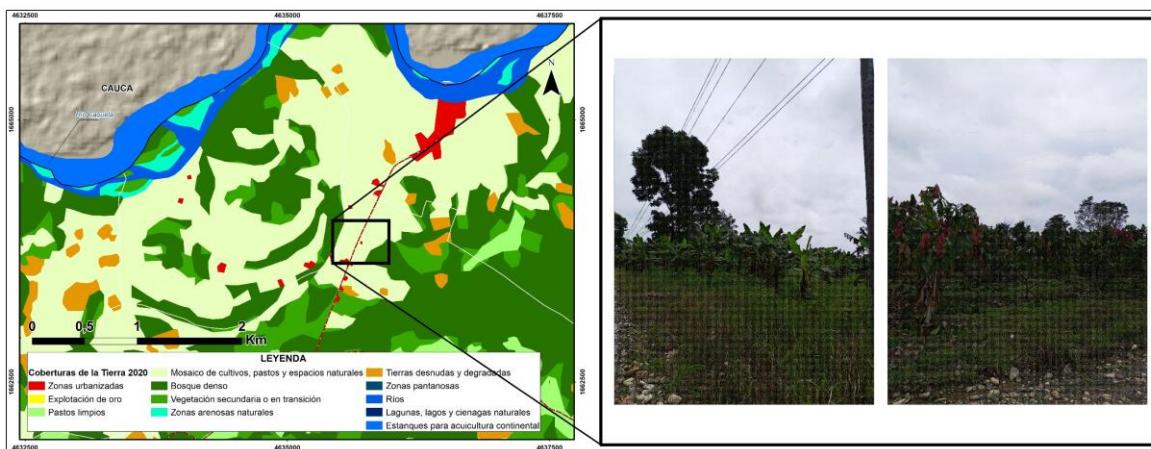
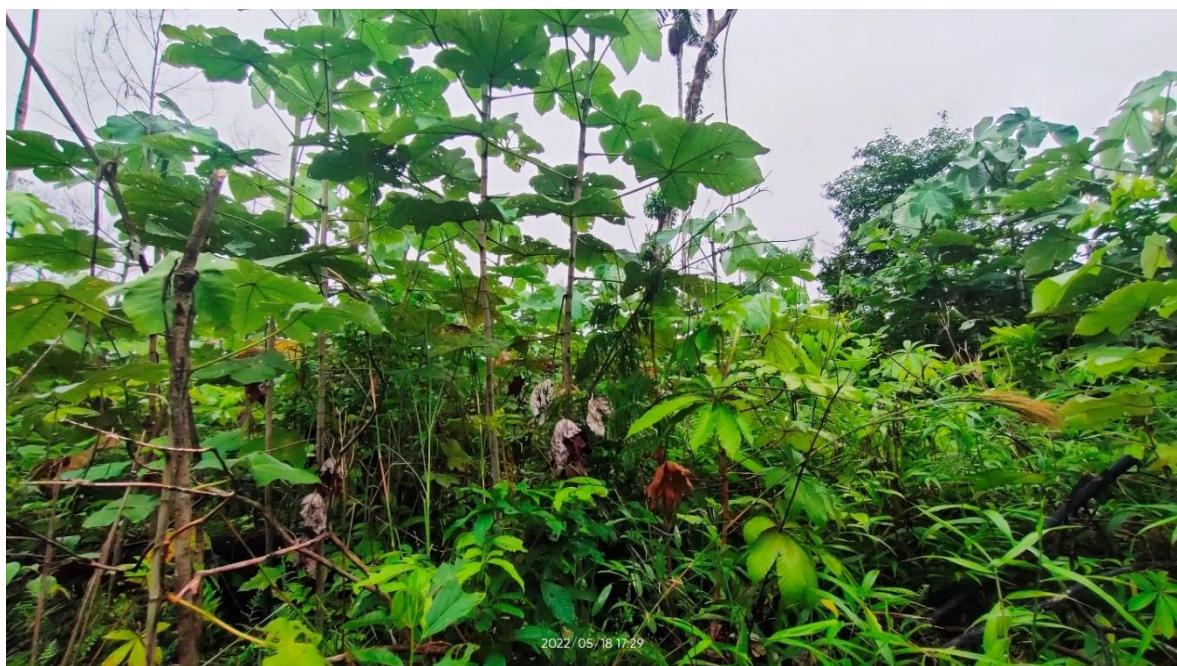


Ilustración 128: Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales 2



Ilustración 129: Vegetación secundaria o en transición

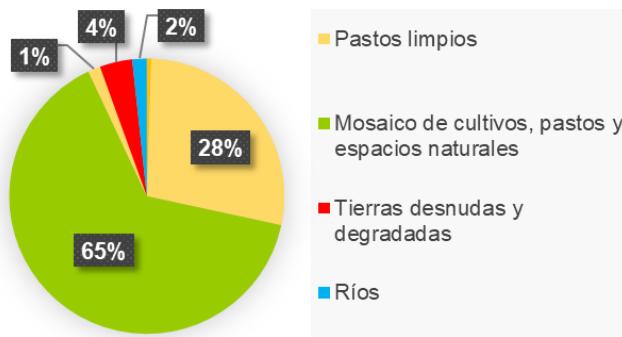


Ahora bien, la matriz de cambio de coberturas también permite analizar las coberturas previas de las presentes en el 2020. En la Ilustración 130 se destaca que el 64,64% de lo que en el 2020 estaba en vegetación secundaría o transición en el 2010 eran mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, el 27,85% eran pastos limpios y el 3,83% tierras desnudas y degradadas.

Ilustración 130: Coberturas previas a la de Vegetación secundaria o en transición

Coberturas del Suelo 2010	Vegetación secundaria o en transición 2020 (ha)	%
01A: Zonas urbanizadas	0,00	0,00%
02A: Explotación de oro	16,04	0,53%
03A: Pastos limpios	837,72	27,85%
04A: Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1.944,25	64,64%
05A: Bosque denso	0,00	0,00%
06A: Vegetación secundaria o en transición	0,00	0,00%
07A: Zonas arenosas naturales	43,52	1,45%
08A: Tierras desnudas y degradadas	115,34	3,83%
09A: Zonas pantanosas	0,00	0,00%
10A: Ríos	51,09	1,70%
11A: Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,00	0,00%
12A: Estanques para acuicultura continental	0,00	0,00%

Coberturas previas a la Vegetación secundaria o en transición (2020)

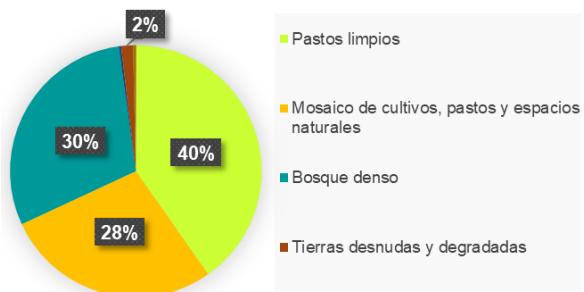


Si se analiza la cobertura de pastos limpios (Ilustración 131) se destaca que solo el 40,15% proviene de la misma cobertura de pastos limpios desde el año 2010 al 2020, mientras que 29,73% de lo que en el 2020 estaba en pastos limpios en el 2010 era bosque denso y el 27,84% era mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales. Esto quiere decir que toda la cobertura de pastos no se mantuvo, sino que unas áreas de pasto migraron a otras coberturas y se obtuvieron nuevos pastos a partir de otras coberturas.

Ilustración 131: Coberturas previas a la de Pastos limpios (2020)

Coberturas del Suelo 2010	Pastos limpios 2020 (ha)	%
01A: Zonas urbanizadas	0,00	0,00%
02A: Explotación de oro	6,17	0,10%
03A: Pastos limpios	2.469,56	40,15%
04A: Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1.712,39	27,84%
05A: Bosque denso	1.828,52	29,73%
06A: Vegetación secundaria o en transición	0,00	0,00%
07A: Zonas arenosas naturales	19,13	0,31%
08A: Tierras desnudas y degradadas	93,71	1,52%
09A: Zonas pantanosas	0,00	0,00%
10A: Ríos	21,24	0,35%
11A: Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,00	0,00%
12A: Estanques para acuicultura continental	0,00	0,00%

Coberturas previas a los pastos limpios 2020



La Ilustración 132 muestra las extensiones en pastos limpios del 2010, solo en un 62,19%, se mantuvieron con la misma cobertura hasta el 2020, un 21,10% pasó a ser vegetación secundaria o en transición y un 12,84% pasó a mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales.

Ilustración 132: Coberturas a las que migraron los pastos del 2010

Coberturas del Suelo 2020	Pastos limpios 2010 (ha)	%
01B Zonas urbanizadas	45,56	1,15%
02B Explotación de oro	14,93	0,38%
03B Pastos limpios	2.469,56	62,19%
04B Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	509,98	12,84%
05B Bosque denso	0,00	0,00%
06B Vegetación secundaria o en transición	837,72	21,10%
07B Zonas arenosas naturales	13,68	0,34%
08B Tierras desnudas y degradadas	37,81	0,95%
09B Zonas pantanosas	17,05	0,43%
10B Ríos	18,10	0,46%
11B Lagunas, lagos y ciénagas naturales	3,25	0,08%
12B Estanques para acuicultura continental	3,03	0,08%

Coberturas a las que se transformó los Pastos limpios del 2010



De acuerdo con los datos de la Ilustración 131 y de la Ilustración 132, se halló que algunas áreas en pastos se “abandonaron” y, en vez de intervenir estas áreas desmontadas, lo que hicieron fue establecer nuevas pasturas a partir de áreas de bosque natural. La Ilustración 133 muestra una fotografía de la cobertura de pastos.

Ilustración 133: Pastos



Para facilitar la interpretación de los anteriores resultados se hace uso las categorías de cambio de coberturas, que resume de una forma apropiada la cuantificación de la deforestación.

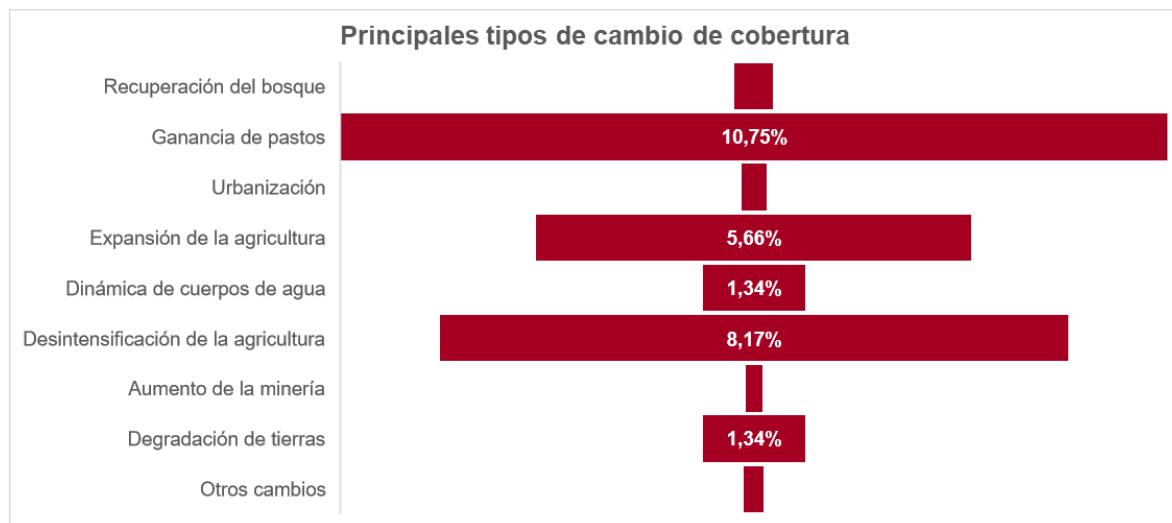
b) Categorías de cambio de coberturas 2010 – 2020

En la Tabla 56 se muestran las categorías que indican el tipo de cambio de coberturas con sus respectivas áreas y porcentajes respecto a la totalidad del área de interés, y en la Ilustración 135 se muestra el mapa de las categorías de cambios de coberturas 2010 – 2020.

Tabla 56: Categorías de cambio de coberturas 2010 – 2020

Tipo de Cambio	Descripción	Área Ha	%
Sin cambio	Áreas donde se presenta el mismo código de cobertura a nivel 3 tanto en la cartografía del periodo 2010 como la cartografía del periodo 2020, por lo tanto, son las áreas que no tuvieron un cambio en las coberturas en esos periodos.	24.314,46	71,40%
Recuperación del bosque	En este indicador se incluyen las áreas que no eran bosque en la cartografía del periodo 2010 y que en el periodo 2020 aparecen como cualquier tipo de bosque. Se incluye también en este indicador los bosques fragmentados del periodo 2010 que se hayan recuperado y, por lo tanto, se registren como bosques densos o bosques de galería en la cartografía del periodo 2020.	174,89	0,51%
Ganancia de pastos	Son áreas ganadas de cualquier tipo de pasto que no existían en la cartografía y que están presentes en la cartografía 2020.	3.659,93	10,75%
Urbanización	Se incluyen en este indicador las áreas de territorios artificializados presentes en la cartografía del periodo 2020 y que no existían en el periodo de 2010, separando las zonas mineras que son contempladas en otro indicador.	114,78	0,34%
Expansión de la agricultura	Con este indicador se pretende identificar las áreas ganadas en cultivos provenientes de zonas que en la cartografía del periodo 2010 estaban ocupadas por algún tipo de pasto o cobertura natural.	1.928,88	5,66%
Dinámica de cuerpos de agua	En este indicador se representan los cambios que hayan tenido los cuerpos de agua en los dos periodos de tiempo analizados.	454,90	1,34%
Desintensificación de la agricultura	Se considera en este indicador las áreas que en la cartografía del periodo 2010 presentaban algún tipo de cultivo o pastizal ya sea puro o en mosaico, y que en la cartografía del periodo 2020 haya cambiado a algún tipo de cobertura natural o a algún tipo de mosaico con presencia de espacios naturales.	2.781,98	8,17%
Aumento de la minería	Dada la importancia del tema minero para el país en este momento, se incluyó un indicador que permite identificar de qué tipo de coberturas provienen las áreas mineras presentes en la cartografía del periodo 2020, aclarando que estas áreas tienen la limitante de la escala de la información (1:25.000).	77,48	0,23%
Degradación de tierras	El indicador se utiliza para reconocer las áreas que en la cartografía del periodo 2020 se presentan como afloramientos rocosos o tierras degradadas, pero que en la cartografía del periodo 2010 estas áreas presentaban algún tipo de cobertura vegetal ya sea natural o antrópica.	457,93	1,34%
Otros cambios	Este indicador recoge los cambios que no son considerados en el análisis multitemporal. Estos incluyen tanto los cambios no lógicos que se presentaron, como los cambios que, aun siendo lógicos, no se consideraron relevantes para analizar.	90,21	0,26%
TOTAL		34.055,45	100%

Ilustración 134: Principales tipos de cambio de cobertura

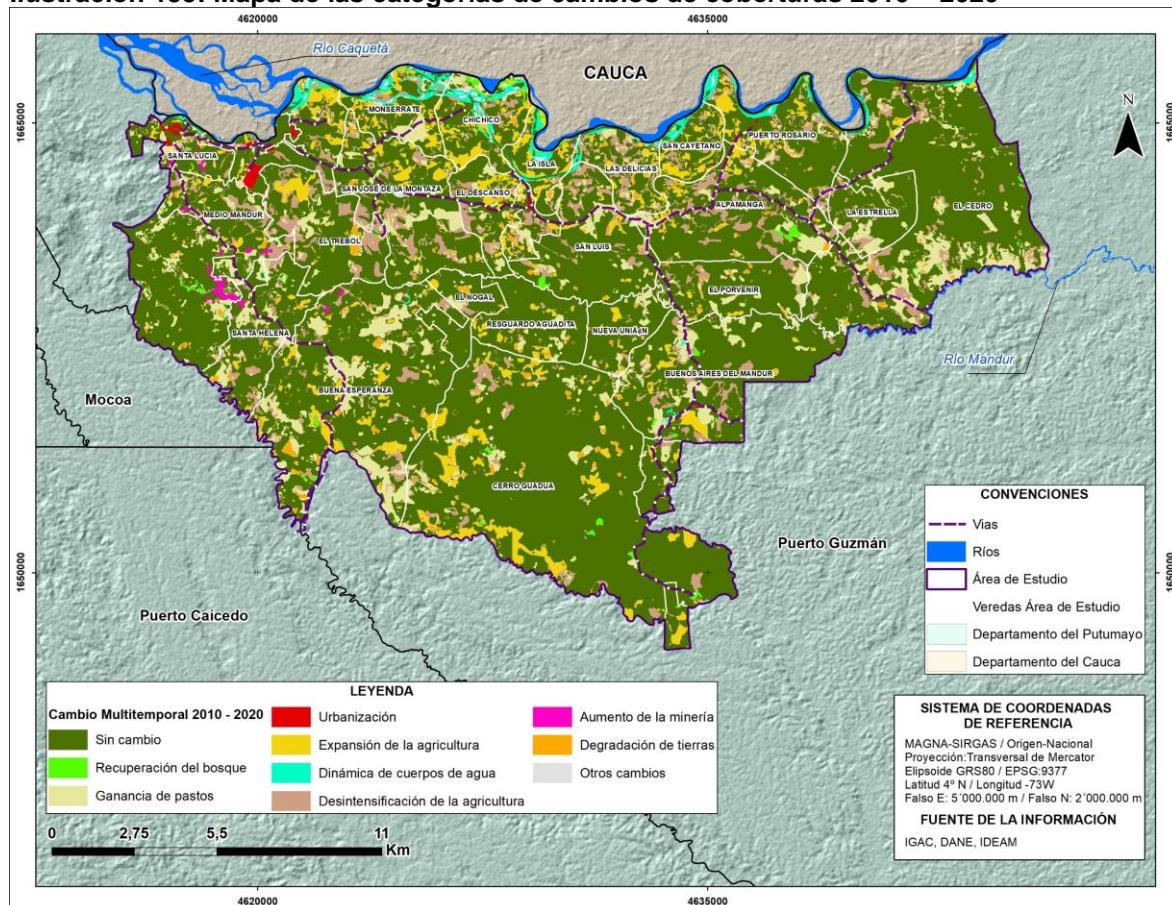


En la Ilustración 134 se omitieron las áreas sin cambios equivalentes al 71,40% del área de estudio, que son los lugares donde se presenta la misma cobertura tanto en la cartografía del 2010 como la cartografía del 2020. Respecto al 28,60% del área con cambios, se destaca la categoría de ganancia de pastos: áreas ganadas de cualquier tipo de pasto que no existían en la cartografía y que están presentes en la cartografía del 2020 (10,75%). La simplificación del ecosistema en pastizales y su ampliación continúa debido a la necesidad de buscar mejores suelos una vez que los ocupados se agotan es una de las más graves causas de la deforestación.

La segunda categoría corresponde a la desintensificación de la agricultura (8.17%). Esta categoría cobija a las áreas que en la cartografía del 2010 presentaban algún tipo de cultivo o pastizal, ya sea puro o en mosaico, y que en la cartografía del 2020 se haya cambiado a algún tipo de cobertura natural o a algún tipo de mosaico con presencia de espacios naturales. Esta categoría, aunque aparentemente prometedor, en realidad corresponde a esos terrenos que fueron desmontados y abandonados (potrización).

La tercera categoría es el de expansión de la agricultura (5,66%). Con esta categoría se pretende identificar las áreas ganadas en cultivos provenientes de zonas que en la cartografía del 2010 estaban ocupadas por algún tipo de pasto o cobertura natural. Si se considera que se puede partir también de cobertura natural, dentro de esta categoría se pueden cuantificar los cultivos ilícitos, dinámica muy álgida en el área de estudio.

Ilustración 135: Mapa de las categorías de cambios de coberturas 2010 – 2020



En lo referente a la degradación de tierras (1,34%), esta corresponde a la categoría que se utiliza para reconocer las áreas que en la cartografía del 2020 se presentan como afloramientos rocosos o tierras degradadas, pero que en la cartografía del 2010 estas áreas presentaban algún tipo de cobertura vegetal ya sea natural o antrópica.

Es preciso detenerse un poco en este punto, porque la erosión es de preocupante importancia para el área de estudio debido a que el 42,89% del área corresponde a la geoforma de “Lomas y Colinas”, que presenta pendientes onduladas, con un rango promedio de entre el 8 y el 30% de pendiente. Esta preocupación se debe a que las pendientes superiores al 8% corren altos riesgos de erosión una vez desprotegidas de vegetación. Según el mapa de coberturas del año 2020 realizado en esta investigación, las lomas y colinas del área de estudio se encontraban cubiertas con bosque, por lo tanto, es fundamental tener en cuenta que el riesgo de erosión aumenta significativamente si no se implementan medidas de conservación y manejo adecuadas.

El alto riesgo de erosión se debe a que los suelos del área de estudio son altamente erodibles cuando son desprotegidos, situación que se agrava por el mal manejo,

especialmente el sobrepastoreo unido a gramíneas no aptas para la zona. Las condiciones climáticas de la zona son muy fuertes, porque la temperatura promedio durante la estación lluviosa, que se puede prolongar entre 8 y 9 meses, es de 23,5 grados centígrados (Anexo 3: Actualización de variables climáticas para el periodo de estudio: Temperatura y precipitación). Las condiciones climáticas mencionadas previamente propician procesos acelerados de lavado y meteorización del suelo, lo que incrementa la susceptibilidad a la erosión. Esto tiene un impacto directo en la transformación de las coberturas, intensificando la degradación del ecosistema.

Para dar cierre al análisis de las categorías de cambio, cabe mencionar lo referente al aumento de la minería. Los resultados de la detección de EVOA en tierra²⁰ indican que el mayor incremento se ubica en Putumayo con un 39% de incremento en el área afectada, porque pasó de 291 ha en el 2019 a 405 ha en el 2020, donde el incremento importante se concentra principalmente en el municipio de Puerto Guzmán. La presencia de EVOA abarca 118 municipios (11%) del total de 1.122 en el país: 95 presentan EVOA en tierra, 20 presentan solo EVOA en agua y 3 municipios tiene ambas modalidades de explotación (Puerto Guzmán es uno de ellos) (UNODC, 2022).

La UNODC, como fuente oficial para Colombia de las cifras de cultivos de coca desde el 2003 y de EVOA desde el 2018 señala:

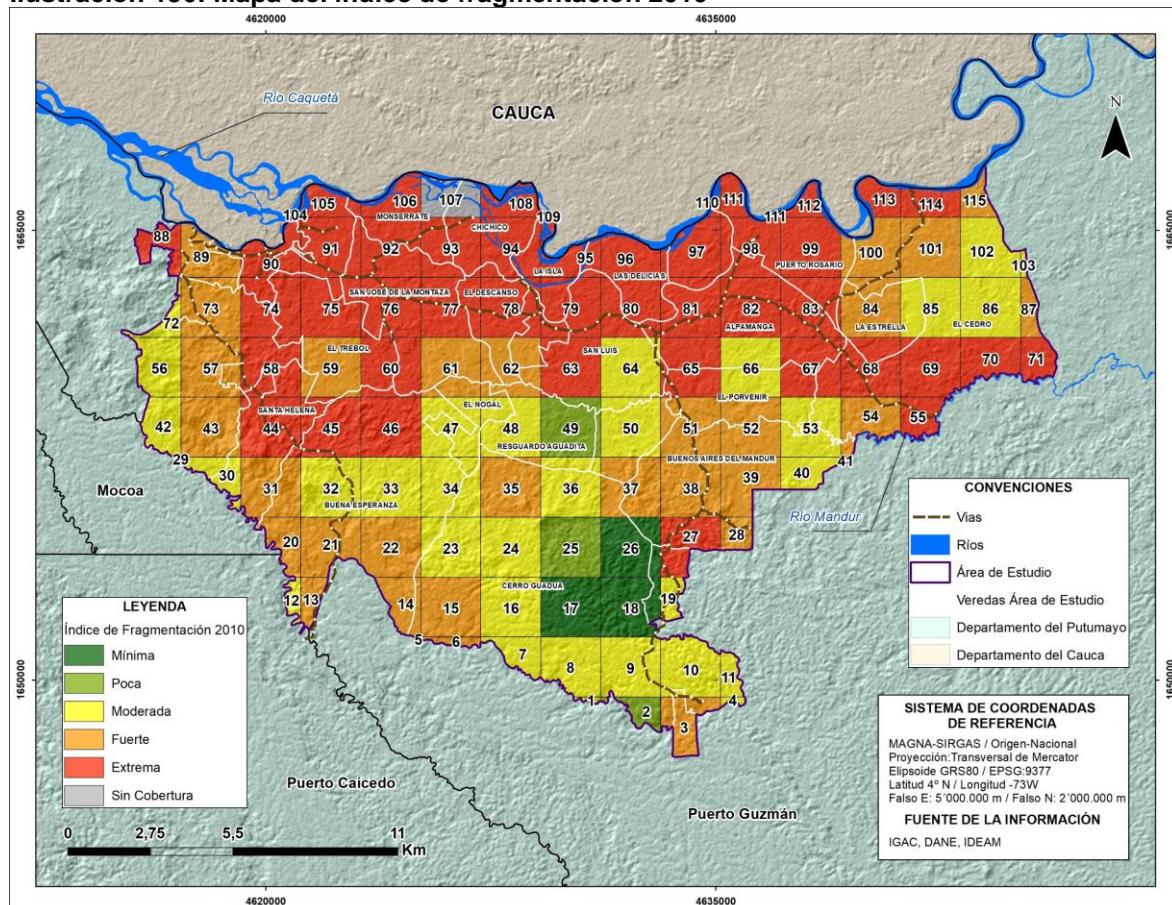
“La convergencia que se da sobre un mismo espacio territorial de la minería de oro y los cultivos ilícitos, convirtiendo estas zonas en territorios complejos tanto para la intervención del Estado como por las vulnerabilidades de las comunidades que los habitan” (UNODC, 2022, p. 73).

5.1.2.3. Análisis de fragmentación: situación actual y oportunidades

A continuación, se presentan los resultados del índice de fragmentación derivados del proceso explicado en el apartado 4.1.5, donde se aplicó a metodología de Steenmans & Pinborg (2000) para analizar la fragmentación. En la Ilustración 136 se muestra el área de estudio con las 115 celdas de 2 km por 2 km para el año 2010 ya categorizadas según el índice de fragmentación. Los resultados del índice de fragmentación para cada celda se relacionan en el Anexo 11.

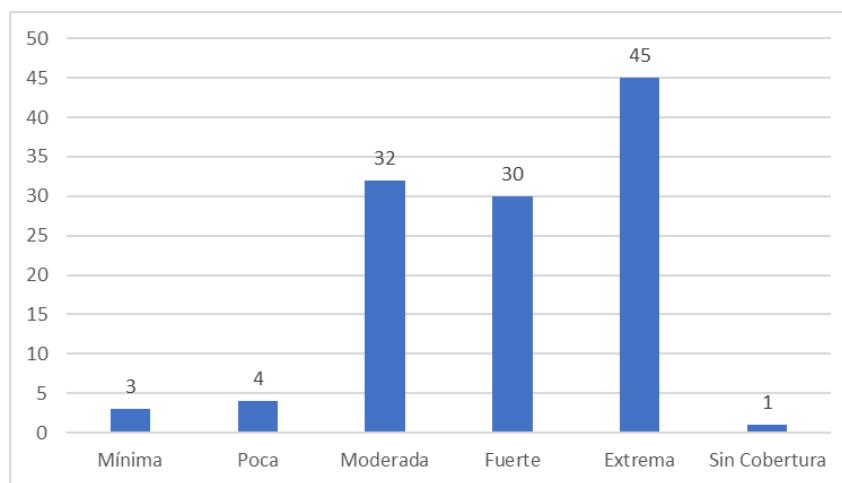
²⁰ huella o señal detectada mediante interpretación y procesamiento digital de imágenes satelitales, que se caracteriza por alteración del paisaje en terrenos aluviales.

Ilustración 136: Mapa del índice de fragmentación 2010



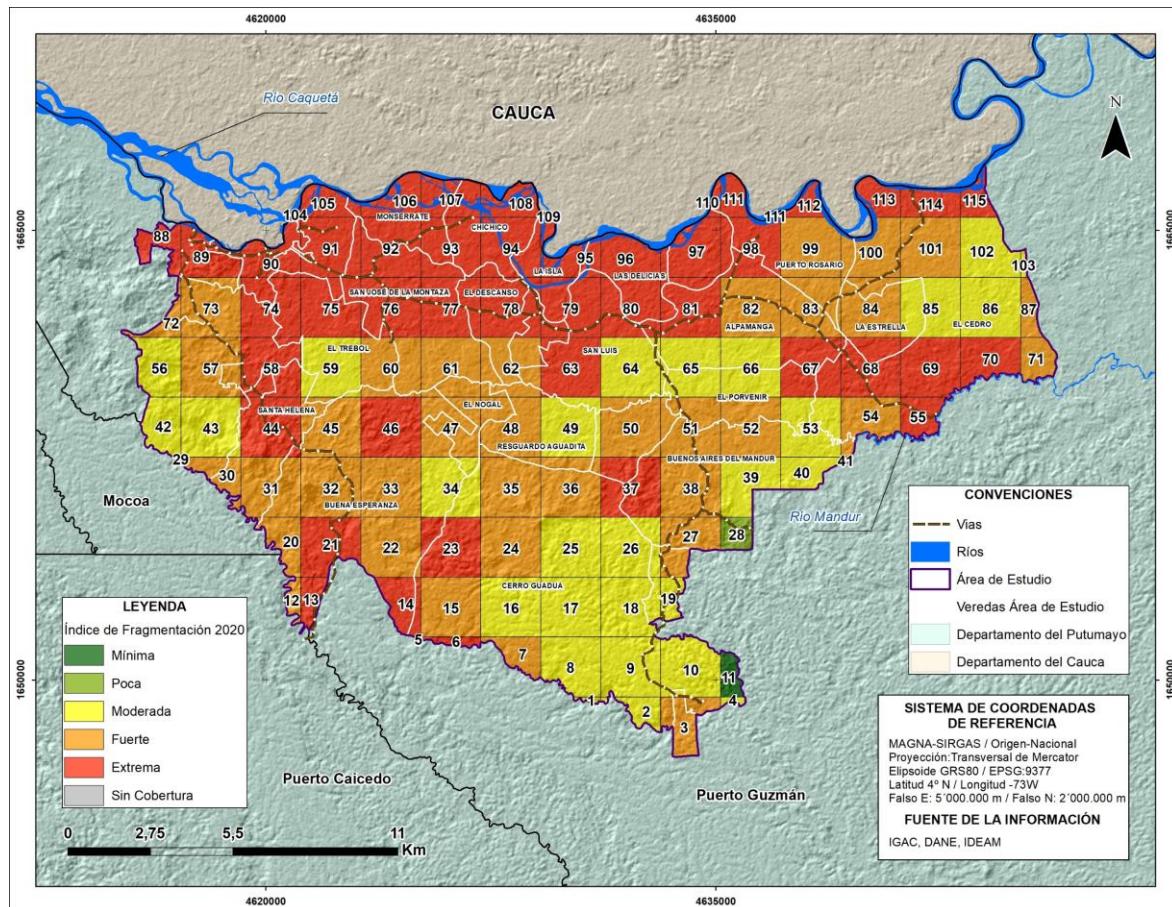
Teniendo en cuenta los rangos del Índice de Fragmentación que se muestran en la Tabla 43, se evidencia en la Ilustración 137 que el índice de fragmentación extrema domina en el área de estudio con 45 celdas.

Ilustración 137: Categorías del índices de fragmentación área de estudio año 2010



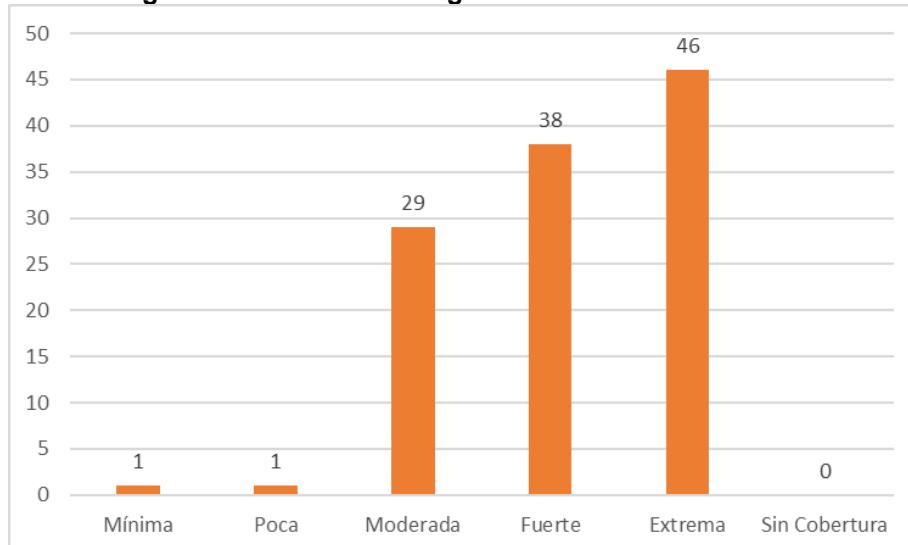
En la Ilustración 138 se muestra el área de estudio con las 115 celdas de 2 km por 2 km para el año 2020 ya categorizadas según el índice de fragmentación. Los resultados del índice de fragmentación para cada celda se relacionan en el Anexo 12.

Ilustración 138: Mapa del índice de fragmentación 2020



Teniendo en cuenta los rangos del Índice de que se muestran en la Tabla 43, se evidencia en la Ilustración 139 que el índice de fragmentación extrema domina en el área de estudio con 46 celdas.

Ilustración 139: Categorías del índices de fragmentación área de estudio año 2020



Para facilitar el análisis visual, se colocaron los mapas de fragmentación del año 2010 y 2020 de forma continua en la Ilustración 140 y en la Ilustración 141 se comparan los resultados de la categorización del índice de fragmentación para los dos año.

Ilustración 140: Comparación visual de los mapas de fragmentación 2010 - 2020

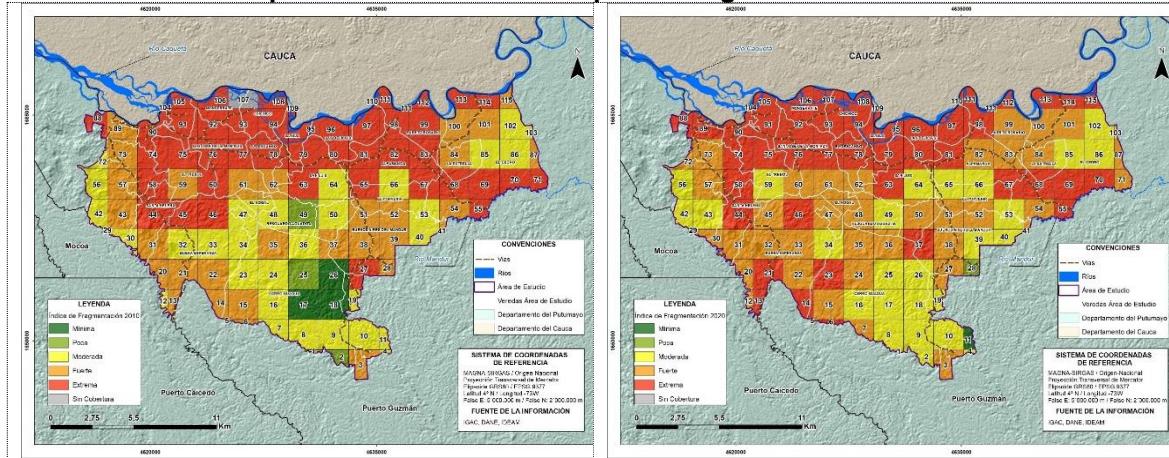
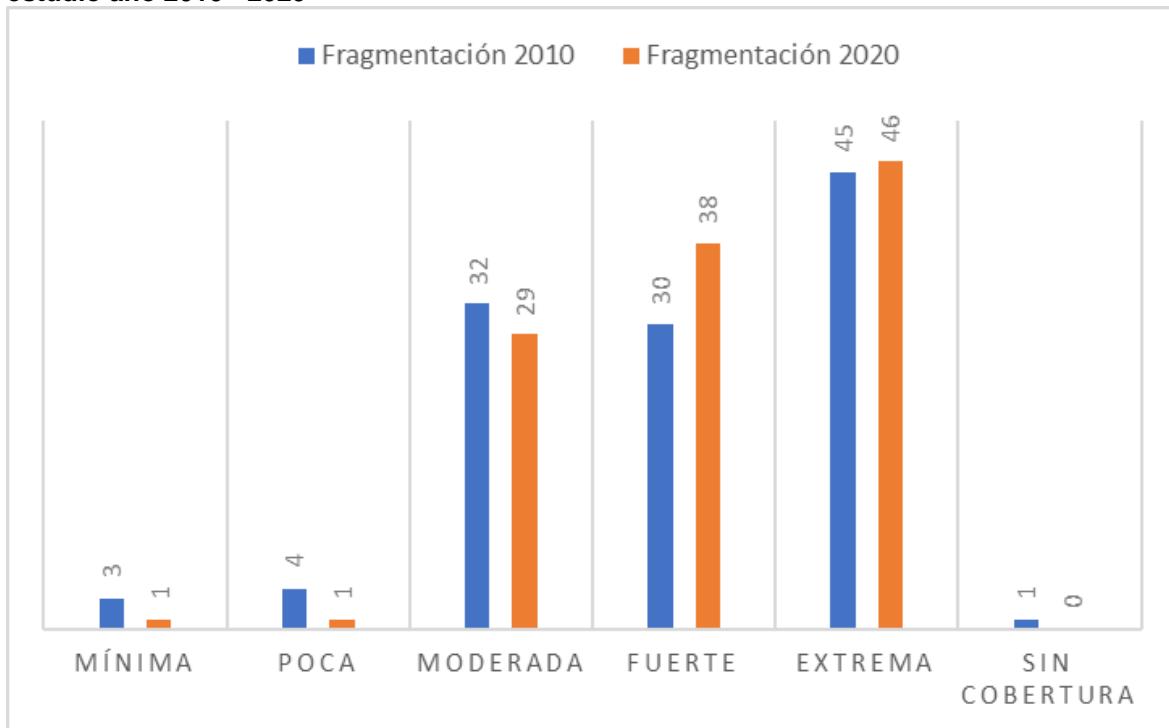


Ilustración 141: Comparación de las categorías del índices de fragmentación área de estudio año 2010 - 2020



Lo más destacado en términos de fragmentación entre 2010 y 2020 es la pérdida de continuidad en el territorio y, aunque el mapa de cambio de coberturas indica que el 71,40% del área no presentó cambio, sí existe un incremento en la fragmentación. En total se pasó de 45 celdas con índice de fragmentación extremo en el 2010 a 46 en el 2020 y de 30 con índice de fragmentación fuerte en el 2010 a 38 en el 2020.

Teniendo en cuenta que disminuyeron las celdas de fragmentación moderada (de 32 pasó a 29) ello podría ser debido a la migración del rango moderado a fuerte. La fragmentación ya era fuerte en el 2010 y esta se ha recrudecido. Llama la atención, que, las celdas que contiene el resguardo indígena Aguadita pasaron de poca y moderada en el 2010 a moderada y fuerte en el 2020.

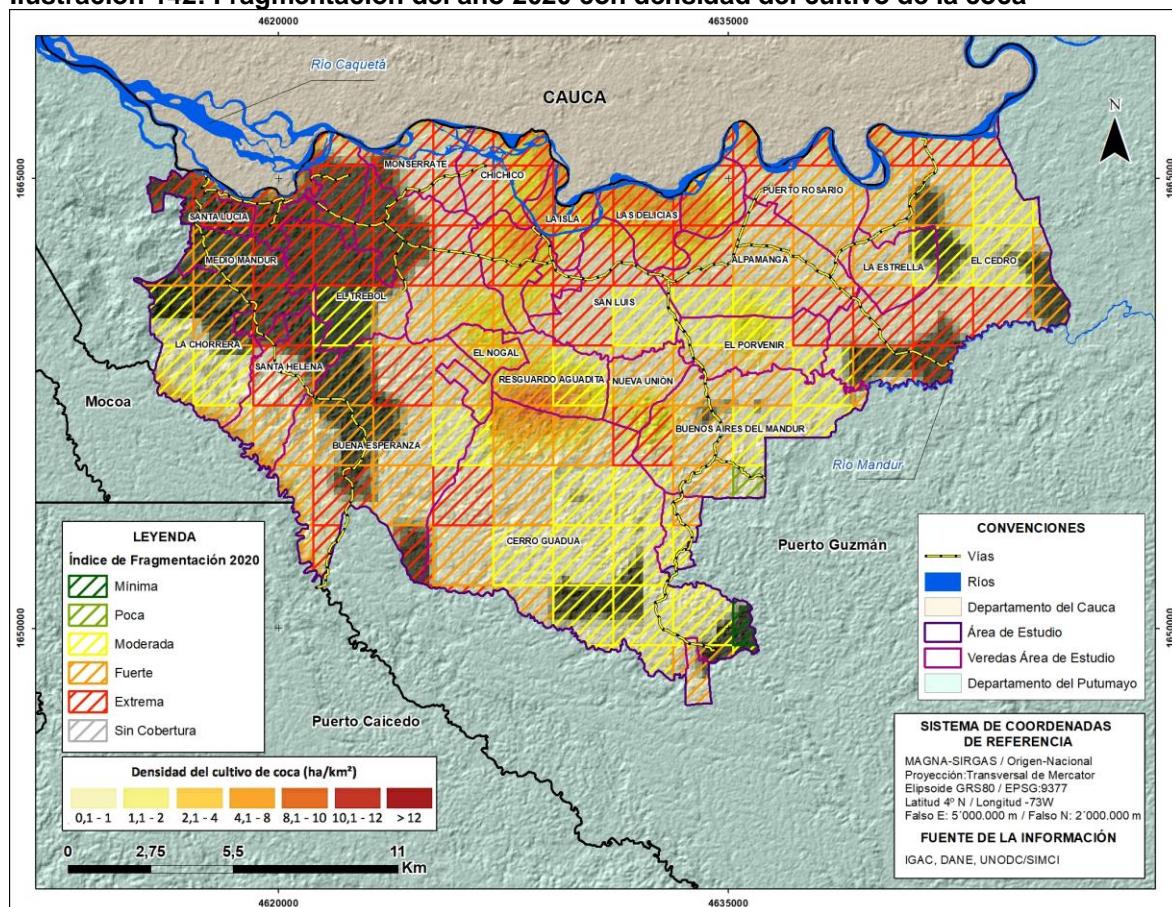
También destaca la regeneración natural, la cual es de rápido crecimiento. Esta se puede evidenciar con el índice de mínima fragmentación que se redujo, porque paso de 3 en el año 2010 a 1 en el año 2020, y el índice de poca fragmentación, que se redujo de 4 en el 2010 a 1 en el 2020.

Dentro de las causas de la fragmentación hallada, se tuvo en cuenta lo planteado como por Erasso & Vélez (2020), que calificaron los cultivos ilícitos como principales promotores de la fragmentación. Para poder analizar esto, se realizó una sobreposición de las capas de fragmentación obtenidas en este estudio con los mapas de la densidad del cultivo de la coca reportados por el Observatorio de drogas de Colombia (UNODC, 2023). Para el 2010, la fragmentación no es posible compararla con los mapas del visor, porque estos son del 2014²¹. Para el 2020 se tiene una celda de fragmentación fuerte y extrema para la zona en donde se tiene la mayor densidad de cultivo de coca (Ilustración 142).

Ya en la praxis, con la cartografía de cobertura del suelo se pudo determinar el cambio de coberturas en el período de tiempo seleccionado y evaluar el estado de conectividad, porque, aunque se ve una importante cobertura boscosa aún, al analizar la fragmentación se aprecia una mayor pérdida de la continuidad de esta, por lo que se afecta su función como hábitat. Es decir, no basta con que se tenga una extensión importante de bosque, debe existir homogeneidad en este, continuidad, para que así, siga cumpliendo con sus procesos ecológicos. No obstante, es necesario empezar a evaluar la oportunidad que ofrece la fragmentación como estrategia preventiva ante eventos de grandes incendios forestales, debido al incremento del riesgo de que ocurran. Este planteamiento se detalla a continuación.

²¹ Aunque estos mapas son actualizados anualmente, la disponibilidad es restringida a organismos públicos o privados mediante solicitud escrita, y no dieron respuesta a la que se realizó, por ello, se usó el disponible en línea

Ilustración 142: Fragmentación del año 2020 con densidad del cultivo de la coca



La fragmentación como oportunidad

Se está cerniendo un peligro inminente sobre la Amazonía y es que se den *Grandes Incendios Forestales (GIF)*²². Este fenómeno se está presentando cada vez más frecuentemente en los países con latitudes altas, en donde la situación es alarmante porque se están incendiando sitios, que se asumía, tenían bajo riesgo de grandes incendios forestales y eso se puede atribuir al incremento de sequías y olas de calor:

"Los incendios del 2022 en lugares tan al norte como el Reino Unido, Irlanda y Noruega, son una señal clara de que las regiones que no se vieron afectadas en el pasado por los incendios forestales, ahora están amenazadas. Según los expertos, el cambio climático es probablemente una "causa principal" del aumento de los

²² "Entendemos por GIF aquel incendio que manifiesta sostenidamente intensidades y velocidades de propagación fuera del alcance de los medios de extinción, dejando de lado el concepto de superficie quemada" Almadraba et al., 1999, citado en Badia, 2000, p. 171.

incendios. Las olas de calor extremo que secan los bosques son cinco veces más probables hoy que hace 150 años" (Levante, 2022, p.16).

Este tipo de incendio se puede presentar cada vez más frecuentemente por las condiciones climáticas cada vez más secas, mayor presencia de vientos por las tormentas y frecuentes fuentes de ignición, además de una masa de bosque continua:

"De particular preocupación en la Amazonía son los bosques extensos a lo largo del arco sureste de la cuenca, precisamente donde los incendios y la presión demográfica son mayores, que tienen fuertes estaciones secas incluso en años normales (...). Algunos estudios sugieren que los eventos climáticos extremos, como las sequías de El Niño y las tormentas tropicales, podrían aumentar en frecuencia o gravedad como resultado del calentamiento global" (Laurance, 1998, p. 413)

La preocupación sobre los bosques extensos se debe a que "la continuidad de la cobertura es uno de los factores desencadenantes de los incendios catastróficos, porque la superficie potencial que puede llegar a consumir el fuego es el mayor problema de los incendios, aún más que el número de incendios" (Badia, 2000, p. 179).

La poca atención que se le presta a este riesgo, al menos en lo que respecta a Colombia, puede deberse a la premisa que se tiene arraigada de que "Las selvas tropicales intactas son bastante resistentes a incendios y fluctuaciones climáticas" (Laurance, 1998, p. 412). Pero esta situación está cambiando aceleradamente debido al sinergismo del cambio climático mencionado y los usos antrópicos del suelo. En los últimos años, los eventos extremos de incendios forestales en Brasil, Australia y California han atraído la atención pública sobre el tema (Boer et al., 2020). A continuación, lo que indica el estudio *Global Trends of Forest Loss Due to Fire From 2001 to 2019* sobre los GIF en los bosques tropicales de América que incluyen a la Amazonía

"El aumento de la pérdida de bosques relacionada con los incendios en los trópicos concuerda con las anomalías del clima previamente detectados. Si bien los grandes incendios forestales en bosques tropicales siguen siendo relativamente raros, hay una tendencia creciente de pérdida de bosques tropicales primarios en América y África debido al fuego y esto es una señal alarmante. Se prevé un aumento proyectado en la severidad y frecuencia de casos extremos y es probable que los eventos meteorológicos aumenten aún más la presión del fuego sobre los bosques, lo que presenta desafíos en el manejo del fuego" (Tyukavina et al., 2022, p. 18)

La continua fragmentación de grandes extensiones de bosques vírgenes, que actúan como cortafuegos naturales, es especialmente alarmante. Sin embargo, especialmente en el caso de los incendios amazónicos, no hay información clara sobre qué exactamente estaba ardiendo: bosques o áreas previamente deforestadas que se había convertido en pastizales y tierras de cultivo (Cardil et al., 2020). “A diferencia de los incendios forestales que se desatan cada verano en Europa, los del territorio amazónico han sido muy poco estudiados” (Gozzer, 2019, p. 2)

Y aunque Armenteras et al. (2013), plantea que existen estudios en Colombia que muestran que la fragmentación en la Amazonía no solo aumenta la ocurrencia y la intensidad de incendios, sino que existe un efecto de borde a gran escala en el cual los incendios más intensos, y la mayoría, ocurren cerca del borde de los fragmentos, estudios más recientes indican que:

“No hay un manejo y seguimiento adecuado de los incendios, y no se sabe si el fuego tiene o no un impacto positivo sobre el ecosistema, por lo cual tampoco se sabe si hay que enfocar el manejo solo en el control de incendios o si, por el contrario, el fuego debe formar parte de los planes de gestión” (Armenteras et al., 2020, p. 12).

Retomando lo anterior, se puede sintetizar que la fragmentación presente en el área de estudio es una actividad sin planificación ni autorizada y, por ende, transgresora, que no obedece a otra motivación que cambiar la cobertura boscosa por otra y que no es una actividad puntual en el tiempo, sino que, es la primera fase de un reemplazo progresivo del paisaje de bosque por otras cubiertas. Es por esto por lo que se considera como una actividad que afecta la biodiversidad porque involucra la pérdida del hábitat (razón más importante de la extinción de especies en los últimos tiempos) y altera los flujos naturales de materia y energía (Uvigo, 2008).

No obstante, es necesario realizar una evaluación desde la oportunidad que puede ofrecer como estrategia preventiva frente al riesgo cada vez más latente de los *Grandes Incendios Forestales*. Los avances de Colombia en lo que respecta al manejo de los incendios es precario, su relación con el manejo del fuego se limita a la emisión de políticas que indican la supresión de este, porque lo ven como una amenaza y no contemplan otras opciones:

“Se identificó que Colombia, Ecuador y Perú contemplan el fuego como una amenaza por lo cual su gestión se hace solo desde la supresión, siendo prohibida la quema en cualquier ecosistema natural, aun cuando hay investigaciones que

señalan que se debe contemplar la posible respuesta positiva de algunos ecosistemas al fuego” (Armenteras et al., 2020, p. 12).

El cambio climático y la presencia humana cada vez frecuente al interior de la Amazonía, y los incendios incontrolables que han ocurrido en el planeta, deben motivar a los investigadores y a los tomadores de decisión a evaluar otras opciones. Dentro de estas figuras la fragmentación se tiene que atender como oportunidad:

“La planificación de posibles roturas y discontinuidades que puedan detener la propagación del fuego. En diferentes ámbitos de la planificación de los incendios, se ha hablado de la necesidad de estructurar las masas de vegetación en forma de mosaico a fin de evitar comportamientos peligrosos de los incendios. Se entendería como mosaico la parcelación del territorio, a fin de que los diferentes usos que se localizan puedan detener el fuego, sea con barreras naturales o artificiales” (Badia, 2000, p. 180).

No es fácil considerar como opción una dinámica que, en Colombia, y demás países del trapecio Amazónico, ha sido valorada de una forma negativa. No obstante, es un punto de vista que está sesgado. Es necesario considerar las experiencias y sugerencias de países que han enfrentado este evento catastrófico en varias oportunidades y se han dado a la tarea de analizar y proponer acciones desde la prevención. Es urgente que la Amazonía y el país en general incurso en el manejo preventivo porque las condiciones para que los GIF sean una triste realidad a la que enfrentarse se están dando de una forma acelerada.

5.2 CAUSAS DE LA DEFORESTACIÓN

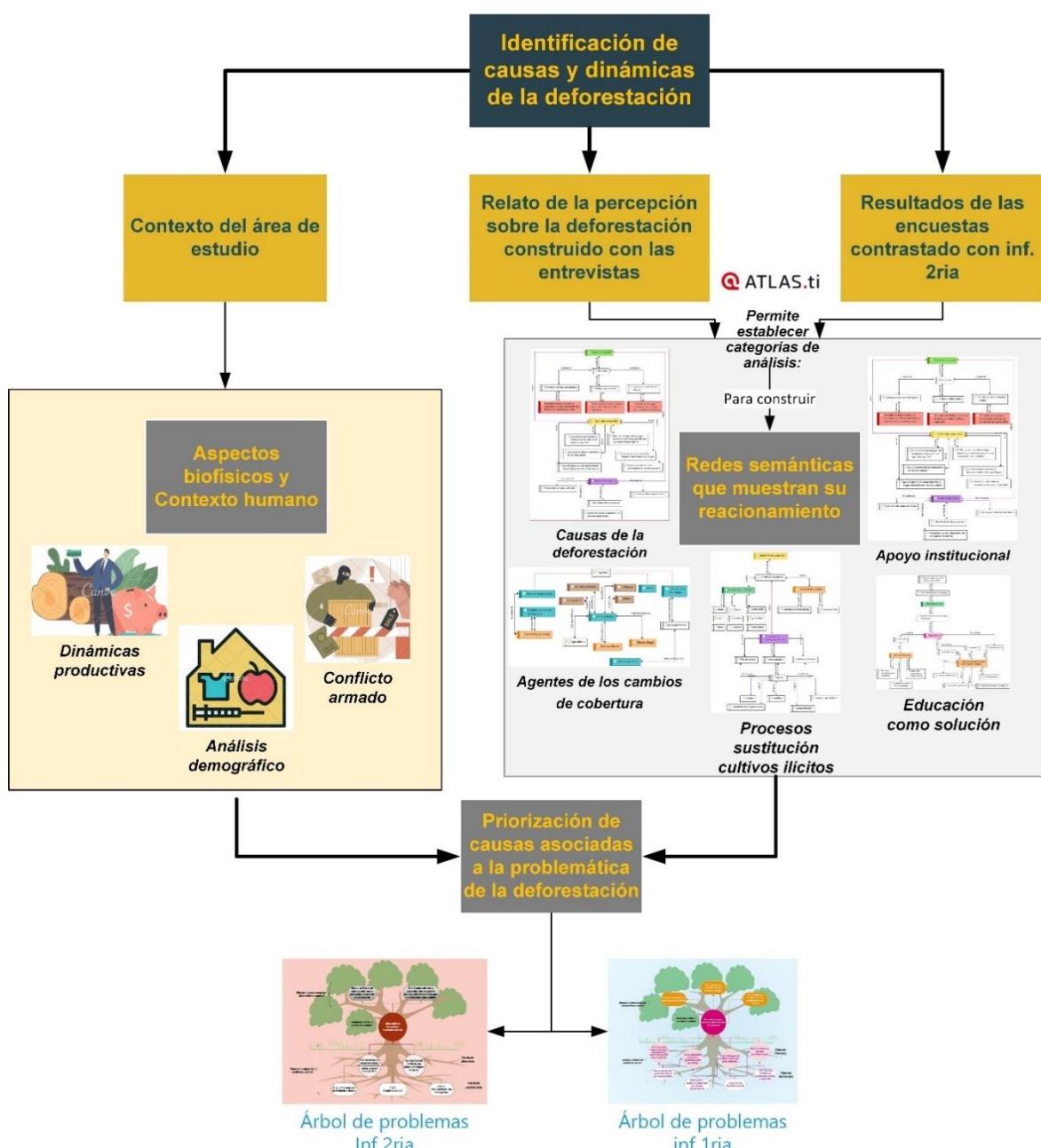
Ya con la cuantificación de cambios de cobertura, la ubicación de las pérdidas de bosque y la valoración de la fragmentación en el área de estudio, era necesario identificar las causas asociadas a estos valores e identificar las diferencias entre las causas de la deforestación indicadas por los diferentes grupos de población entrevistados y encuestados respecto a lo reportado por fuentes oficiales. Para esto se estableció el objetivo de determinar las causas y agentes causantes de la deforestación en el área de estudio a partir del análisis cualitativo y de la revisión de fuentes secundarias. En este apartado se presentan la Identificación de las causas y agentes de la deforestación discriminados a partir de entrevistas y de encuestas.

La información recolectada en las entrevistas (apartado 5.2.1) relata la percepción de las personas de los grupos de población entrevistados con relación a: 1) Causas y agentes de la deforestación; 2) Apoyo institucional y 3) Alternativas de solución. Se presentan citas

textuales de los entrevistados para presentar de una forma objetiva la percepción que tienen de las causas, el papel de las entidades y las soluciones. También se presentan las redes semánticas fruto del procesamiento en el programa Atlas.Ti, para entender las relaciones que se dan alrededor de las siguientes percepciones: i) Causas de la deforestación; ii) Agentes de los cambios de cobertura; iii) Apoyo institucional para procesos de control y prevención de la deforestación; iv) Educación como solución en el mediano y largo plazo y v) Procesos de sustitución de cultivos ilícitos.

En la Ilustración 143 se ofrece una breve síntesis de los resultados.

Ilustración 143: Esquema que resume los resultados de la identificación de causas y dinámicas asociadas a la deforestación



Respecto a las encuestas (apartado 5.2.2) se muestra la ubicación de estas y se contrasta la información colectada en campo con lo obtenido en los portales de las entidades. La identificación de las diferencias entre las causas de la problemática se realizó a partir del análisis de árboles de problemas tanto de la información secundaria como lo identificado en las encuestas y entrevistas (apartado 5.2.3).

Al realizar la revisión de fuentes parecía que todo estaba dicho respecto a los impulsores directos y subyacentes de la pérdida de cobertura forestal en la Amazonía colombiana y la degradación de la remanente. Era fácil juzgar el actuar de los pobladores que habitan las zonas con altas dinámicas de deforestación, después de revisar las causas bien documentadas. Sorprendía encontrar poca información sobre la efectividad de programas puntiales llevados a cabo por el gobierno para contrarrestar la deforestación, ni de sistematización de experiencias. No obstante, se encontraron muchos estudios de caracterización de causas, pero no sobre análisis de efectividad de los esfuerzos estatales para disminuir las tasas de la deforestación.

5.2.1 La voz de los entrevistados

A continuación, se presentan los resultados que reflejan la perspectiva de los entrevistados en relación con las causas y agentes de la deforestación, apoyo institucional, educación como alternativa de solución y procesos de sustitución de cultivos ilícitos. Se encontró mucha más información de la esperada y se hallaron elementos clave que permiten analizar la dinámica de transformación desde distintos ángulos. Por un lado, se presenta la visión de aquellos que lideran la lucha contra la deforestación y que afrontan desafíos a diario; por otro lado, se muestra la perspectiva de aquellos involucrados en actividades incompatibles con la preservación de la cobertura boscosa.

5.2.1.1. Percepción de las causas del cambio de cobertura

Los entrevistados planteaban como motores de la deforestación, la ganadería extensiva, la minería ilegal y los cultivos ilícitos:

“Efectivamente, el municipio de Puerto Guzmán junto al de Leguízamo son los dos municipios con mayores estadísticas de deforestación a lo largo de los últimos 30 años, si se quiere uno remitir al año 90. Las razones o causas son diversas, se llaman motores de deforestación, cabría todo el tema de ampliación de la frontera agrícola, en términos de acaparamiento de tierras, el tema de cultivos de uso ilícito

en este caso de cultivo de coca existe muchos factores, digamos que promueven la deforestación o que activan estos frentes de deforestación en la Amazonía” (Funcionario ONG 1, 2022).

Ilustración 144: Área de ganadería extensiva (al fondo)



En lo referente a la ganadería (economía lícita) resaltaban, que, debido a que la tierra del Putumayo no es apta para ganado, se prosigue con la tala de bosque, acaparando tierras y expandiendo territorialmente los terrenos con pasturas:

“Generalmente, se tumba bosque es precisamente buscando los suelos con mayor carga microbiana, con mayores tasas de cobertura en materia orgánica, en micronutrientes, pero generalmente al año, toda la riqueza que estaba en el suelo y posterior a la tumba y a las primeras cosechas, pues todas esas riquezas del suelo quedan perdidas” (Funcionario Estatal 1 2022).

Respecto a la minería y los cultivos ilícitos, planteaban que por su alta rentabilidad se prestaban para pagar grupos armados que “cuidaran los cultivos” y que terminaran obligando a los campesinos a cultivar, lo que hace que la violencia aumente, generando desplazamiento forzados:

“Sí, hay uno digamos dado las ganancias, digamos muy altas y de la rentabilidad muy alta, pues eso va para poder financiar todos estos grupos, que lo que hacen es incrementar los niveles de violencia, hemos conocido de que finalmente ellos

hacen inventarios de cuántas hectáreas hay en la familia” (Funcionario Estatal 1, 2022).

Los entrevistados mencionan que la pobreza es una de las causas de la deforestación en la región:

“Causas son múltiples una de ellas es precisamente la pobreza que existe en algunos de estos territorios, usted, eh Si se da la tarea Oscar de revisar los índices de pobreza multidimensional del DANE para este municipio, pero para el resto donde se presentan las mayores tasas de deforestación en Colombia va a encontrar que tenemos precisamente las más altas tasas de deforestación, pero también los índices más altos de pobreza multidimensional” (Funcionario ONG 2, 2022).

El municipio de Puerto Guzmán es uno de los más afectados por la minería ilegal de oro, lo que ha causado una gran cantidad de daños ambientales y pérdida de control sobre la actividad minera. Se indica que la cantidad de oro que se extrae de la zona es impresionante, lo que contribuye aún más a la deforestación y la pérdida de recursos naturales:

“El Putumayo es muy rico en minerales por toda la composición, pues geológica que tiene. Hacia la parte amazónica donde se riegan los ríos principales como el Caquetá, el Putumayo, son zonas muy ricas en minerales como el oro; en Puerto Guzmán, pues de lo que yo tengo mucho conocimiento es en oro, bastante oro de las Vegas de los ríos” (Funcionario Estatal 2, 2022).

Se menciona que hay muchas trabas burocráticas para la obtención de licencias ambientales para la minería y que los costos son demasiado altos para que los mineros puedan solventarse:

“Desde la parte de las entidades, pues pienso yo que hay mucha tramitología que no deja que se avance, y lo otro digamos que son unos costos bastante altos que el minero no puede solventarse y pues también le gusta al minero vivir en la ilegalidad, porque, pues eso le representa disminuir gastos, o sea más ganancia, menos gastos porque no van a dar cumplimiento, por ejemplo a una compensación ambiental va a evitar todos esos gastos de compensaciones ambientales que se generan y se van a evitar también gastos en la legalidad, y desde la parte de las

instituciones también, pues es que no hay profesionales para que agilicen el proceso" (Funcionario Estatal 2, 2022).

Además, se indica que muchos mineros prefieren vivir en la ilegalidad para evitar gastos y aumentar sus ganancias:

"Cuando no se hace un trámite, ninguna entidad te va a ir a hacer el seguimiento y el control, entonces lo van a hacer todo a escondidas y todo eso es lo que está ayudando a que se haga presión sobre los recursos, sobre todo en el recurso forestal, hay demasiados impactos ambientales en relación con ese tema" (Funcionario Estatal 2, 2022).

Se menciona que la minería ilegal es similar a la problemática de los cultivos ilícitos, porque ambas actividades generan violencia, pobreza y daño ambiental, mientras que los beneficios económicos se los llevan personas de fuera de la región:

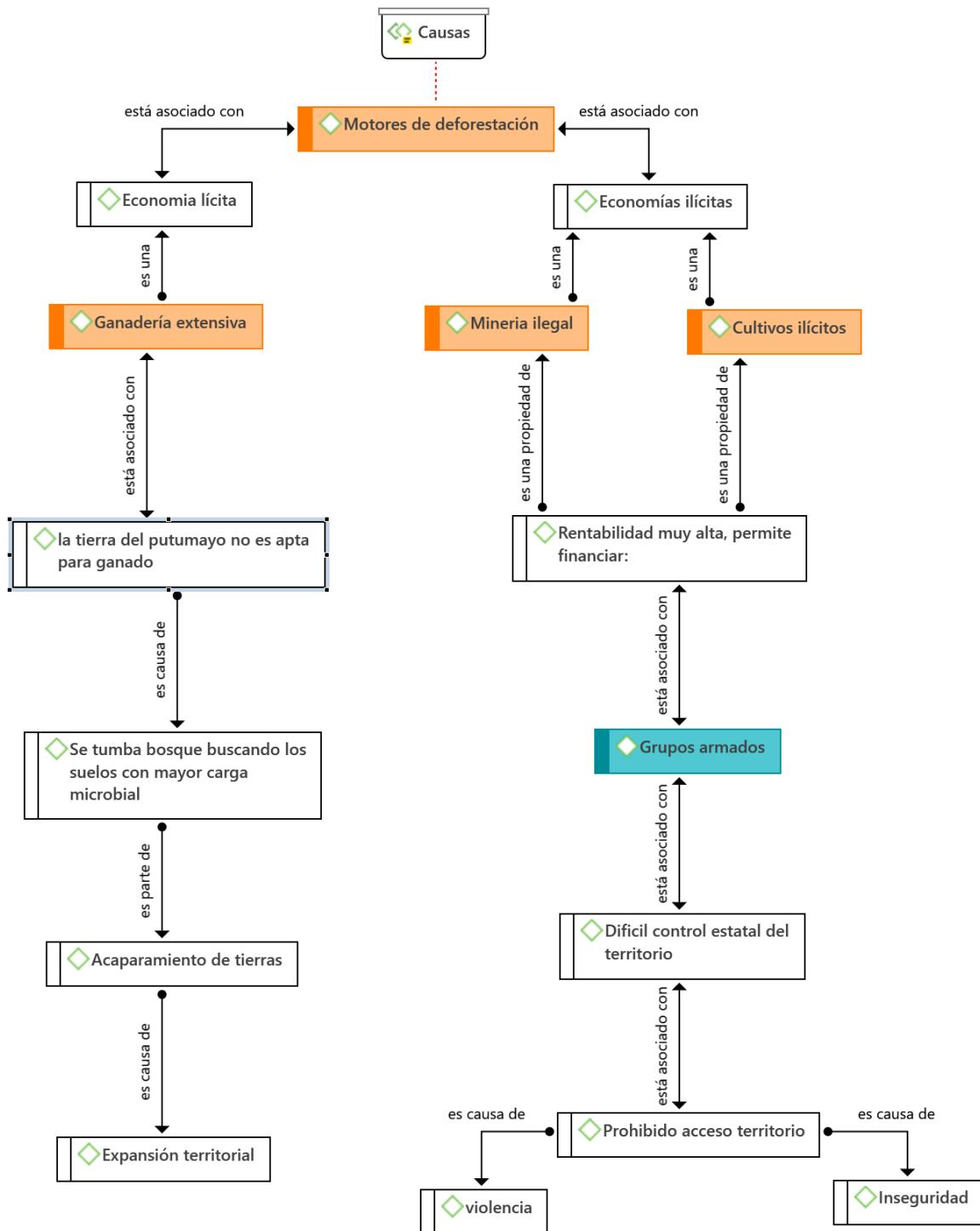
"Está pasando como lo mismo de los cultivos ilícitos, o sea, la pobreza queda, el deterioro a los recursos naturales queda, pero quien se lleva toda la parte económica de eso es los de afuera" (Funcionario Estatal 2, 2022).

La compensación ambiental es un requisito que se exige en los trámites de licencia ambiental para minimizar los efectos ambientales que pueda causar una actividad en el medio ambiente:

"La minería no se puede separar de la evolución de la humanidad, porque, o sea todo lo que nosotros vemos acá en nuestro alrededor es minería, es naturaleza, pero también es minería, entonces, yo lo que invito es que se haga una minería responsable tanto ambiental como socialmente, para que, así pues, digamos que todos vamos como por el mismo camino, pero ayudando que también los recursos sean conservados" (Funcionario Estatal 2, 2022).

En lo que respecta a las causas descritas, las relaciones que se dan alrededor de ellas se pueden ver en la Ilustración 145.

Ilustración 145: Relaciones de que se dan alrededor de las causas de la deforestación



Fuente: Eraso et al., 2023

La extensión del área y su difícil acceso dificultan el control estatal del territorio, por ende, tanto personas como entidades gubernamentales con funciones de control ambiental tienen prohibido el acceso a los lugares donde se están llevando a cabo procesos de cambio de cobertura, como lo relató la persona a continuación:

“Dentro de Puerto Guzmán hay una zona que se llama, bueno, es una vereda que se llama Júpiter, entonces todo el sector minero ilegal que se está llevando a cabo allá se llama mina la Júpiter, y pues de los comentarios que se hacen porque, pues yo no he entrado a investigar ni tampoco he podido ingresar al área porque es difícil, o sea, ingresar a esa área es exponerse a que lo maten porque esa gente está armada” (Funcionario Estatal 2, 2022).

Los entrevistados identificaron la ganadería extensiva, la minería ilegal y los cultivos ilícitos como las principales causas de la deforestación en el municipio de Puerto Guzmán como se muestra en la Ilustración 145. En el caso de la ganadería, se encontró que, aunque se trata de una actividad lícita, la falta de tierras aptas para la actividad induce a la tala indiscriminada de bosques con el fin de buscar suelos con mayor carga microbiana para pastoreo, lo que ha llevado al acaparamiento de tierras y a la expansión de pasturas. La ganadería extensiva (Ilustración 144) es una de las formas más comunes de cambio de cobertura del suelo en algunas áreas de Colombia, como Puerto Guzmán, lo que contribuye significativamente a la deforestación:

“El cambio de cobertura del suelo en estas áreas se da a través de la ganadería extensiva, Es la forma más sencilla de hacer un uso y ocupación de estas áreas, cercar, poner unas vacas, llevar unos saladeros, poner unos bebederos de agua y demás, al menos en el municipio de Puerto Guzmán esta es una de las principales causas, en este sitio también se produce queso que es consumido por las grandes ciudades de nuestro país, inclusive se supone que parte de este queso llega hasta el Chocó, imagine todo el tránsito que debe hacer desde un sitio en casi frontera con el Ecuador para poder poner este producto en comercialización” (Funcionario ONG 2, 2022).

Los entrevistados mencionan que la apropiación de tierras es una de las principales causas de la deforestación en el país, y en algunos casos es auspiciada por grandes capitales, provenientes tanto de actividades lícitas como ilícitas:

“Es lo que llamamos la tragedia de los comunes que son los bienes que son de todos a la vez no son de nadie, entonces la gente ha entendido desafortunadamente de manera errónea, que los baldíos de la nación son áreas en las que se pueden ocupar de forma ilegal e ir apropiando. Entonces la apropiación de tierras creo que es una de las principales causas que está principalmente realizada por esas

personas que viven en pobreza auspiciados por grandes capitales, esos grandes capitales provienen en algunos casos de actividades lícitas y en otros de ilícitas es muy probable" (Funcionario ONG 2, 2022).

En cuanto a la minería ilegal y los cultivos ilícitos, se identificó que su alta rentabilidad ha atraído a grupos al margen de la ley, quienes imponen reglamentos y generan inseguridad y violencia en la zona. Además, estas actividades son ilegales, lo que dificulta su control y ha llevado al desplazamiento forzado de familias que no se adaptan a la presencia de estos grupos. Por otra parte, se señaló que la extensa área del municipio y su difícil acceso dificultan el control estatal de estas actividades ilícitas y su impacto en la deforestación:

"La ausencia del Estado en estos territorios también es una razón que contribuye en esta circunstancia, muestra de ello es el reconocimiento que se hace en la firma del acuerdo de paz que en su momento el Gobierno Nacional suscribió con las extintas guerrillas de las FARC una de las causas que uno puede leer en este acuerdo y es un reconocimiento tácito desde el gobierno y desde luego de los grupos insurgentes como uno de esos reclamos históricos es la ausencia del Estado en estos sitios y creo que es un asunto en el que se debería avanzar y abordar de una manera integral" (Funcionario ONG 2, 2022).

"En muchos de estos sitios no hay ni siquiera energía eléctrica, la luz funciona a través de una planta que encienden a las 6 de la tarde y la apagan a las 10 de la noche o hasta las 12 como máximo. Entonces, yo qué tipo de emprendimiento puedo desarrollar como para la extracción de productos, no maderables o actividades que requieran que haya un suministro constante de luz, entonces alguien diría bueno lo pueden hacer a través de paneles solares, bueno cuánto cuesta eso, cuánto cuesta montarlo, si esa es la alternativa, pues habrá que hacerlo, pero garantizarle insisto, que la comunidad tenga acceso a los servicios públicos básicos para poder desarrollar emprendimientos que sean sostenibles que permitan generar unas cadenas de abastecimiento adecuadas" (Funcionario ONG 2, 2022).

La entrevista con un líder de las EX-FARC destaca que anteriormente su grupo protegía activamente el medio ambiente, controlando la deforestación y la pesca excesiva, pero ahora, debido al incumplimiento y falta de empoderamiento por parte del Estado colombiano, esto ha permitido que personas irresponsables accedan a la región y exploten los recursos naturales a grandes escalas y de forma nociva:

“A través del incumplimiento y la falta de empoderamiento del Estado colombiano a las zonas donde nosotros operábamos antes como es departamento del Caquetá, Putumayo todo el centro de Amazonía eso ha sido también objeto del acceso a la gente de las personas que no cuidan el medio ambiente y nosotros antes protegíamos mucho el tema forestal, controlábamos las tumbas masivas de montañas, también controlaba mucho las pescas masivas porque hay personas que se dedicaban únicamente a pescar y a vender lo más grande y lo más pequeño lo votaban, lo dejaban perder entonces era una masacre contra la piscicultura, contra el medio ambiente, contra la casa, la cacería también la gente, pues tomaba nuestras recomendaciones y ahorita, pues se ha desbordado un poco ese sistema” (Líder de la Comunidad 6, 2022).

La entrevista con un líder Afrocolombiano destaca la importancia de legalizar los Consejos Comunitarios para proteger su cultura y territorio, defender sus derechos y atraer inversiones del Estado. Sin embargo, el proceso administrativo para lograr la legalización puede ser difícil y prolongado debido a una serie de obstáculos que enfrentan las comunidades étnicas. En primer lugar, muchas de estas comunidades carecen de recursos suficientes para afrontar los gastos y trámites que conlleva el proceso. Además, los trasladados a la capital del país para gestionar los requisitos necesarios para la legalización ante las instituciones correspondientes pueden ser costosos e incluso peligrosos, especialmente para las comunidades ubicadas en zonas alejadas y de difícil acceso. Asimismo, el proceso de legalización implica una gran cantidad de trámites y procedimientos administrativos que pueden resultar complejos y confusos para las comunidades que no están familiarizadas con ellos. Por último, se destacó la falta de articulación y coordinación entre las entidades del Estado encargadas de llevar a cabo el proceso, lo que puede retrasar aún más la obtención de la legalidad por parte de las comunidades étnicas:

“La protección de nuestra cultura, nuestra vivencia, la protección de nuestro territorio, defender nuestros derechos, pero sobre todo que puede llegar la inversión del Estado porque estamos organizados debe haber inversión obligatoriamente del Estado” (Líder de la Comunidad 1, 2022).

También se discute la deforestación en la región, que se originó a partir del cultivo de coca en la década de 1980 y la posterior fumigación con glifosato, lo que llevó a la transición a la ganadería como una alternativa lícita.

Sin embargo, la falta de una ganadería autosostenible y la falta de vías de acceso han llevado a la deforestación y a la necesidad de enfrentar retos internos, como conflictos

entre organizaciones afro y grupos al margen de la ley, así como la falta de apoyo institucional:

“Para poder descifrar las altas tasas de deforestación hay que contar un poco la historia de dónde viene ese tema de la deforestación porque se dio, en la década del 90 y los 80, Mayoyoque era la inspección más cocalera que tenía el departamento del Putumayo en el 98 al 2000 - 2003 vino la bonanza de la fumigación entre los gobiernos Ernesto Samper y Andrés Pastrana y nos dieron fue glifosato venteados entonces la gente comenzó a tener pérdida haber enfermedades. Luego llega la ganadería que era rentable y era cultivo lícito donde el gobierno no iba a estar persiguiendo y daba mucha ganancia, más que ni la misma coca, entonces la gente de manera voluntaria decidió hacer una transición de cultivo ilícito a un cultivo lícito que es la ganadería, pero en esos afanes se convirtió un error, que no buscamos una ganadería autosostenible amigable con la naturaleza o el medio ambiente, sino que estamos practicando una ganadería extensiva porque esos son con creencias y culturas caquetaña, incluso una persona nativa Mayoyoque no tiene recursos para deforestar 10, 20, 50, 100 hectáreas que hace el caqueteño, Yo te patrocino para que descumbre, queme, siembre pasto, pero te doy tantos ganados avalado, como una manera de subsistir nos toca recibir ese ganado avalado a nosotros” (Líder de la Comunidad 1, 2022).

“Dos, la falta de vía de acceso para poder sacar nuestros productos, para sacar un racimo de plátano, de yuca, un producto que sea amigable con la naturaleza de allá del Consejo de Mayoyoque que hasta donde se comercializa se va tiempo y el producto llega dañado, pero usted una arroba de queso la montó encima una bestia, y se va por esos chuecos, 20 o 50 cabezas de ganado, las echa usted por una trocha y se va entonces esa es la diferencia y por eso es que la gente está deforestando para trabajar con la ganadería” (Líder de la Comunidad 1, 2022).

Se destaca la preocupación acerca del legado que se está dejando para las generaciones futuras en relación con el medio ambiente y el cambio climático y la importancia de preservar la naturaleza.

“¿Qué les vamos a dejar a nuestras generaciones futuras?, el cambio de la cobertura vegetal es crítico y eso ha incluido o ha influido en el cambio climático que está promoviendo el calentamiento global, entonces el sol está calentando. Estamos acabando con todas las especies dentro, ya nuestra generación no va a tener que cortar una varita para pescar ni para cortar leña para hacer sus alimentos

no van a tener, no van a tener dónde ir al campo a conectarse con la naturaleza" (Líder de la Comunidad 1, 2022).

Durante la investigación se pudo registrar el impacto de la fumigación con glifosato, como medida de erradicación de cultivos ilícitos. Visitando y tomando fotografías a una zona que fue fumigada, en la vereda Ancura, del municipio de Puerto Asís - Putumayo, con un RPAS Phantom 4 Pro. Todas las tomas son de marzo de 2021 y las coordenadas geográficas de las fotografías son 0° 28' 33,6" N y 76° 25' 51,6" W. La Ilustración 147, Ilustración 148 e Ilustración 148 muestran la afectación a un humedal, el cual es un ecosistema estratégico. En él se evidenció cómo las aves que habitaban ese humedal estaban afectadas. Además, se pudo recopilar un testimonio de una líder de la comunidad que explica los resultados derivados de la fumigación con glifosato:

"Tras investigar este desastre durante dos años los habitantes manifiestan que la causa del deterioro de las palmas de (*Maurita flexuosa*) se debe a fumigaciones de años anteriores. En el mes de noviembre de 2000, febrero de 2001, en el año 2005, y en el año 2009 fueron intoxicados 276 personas, en su mayoría, niños, a pesar de todas estas consecuencias para la salud de la comunidad aún, el estado sigue fumigando glifosato por tal razón algunos habitantes del territorio atribuyen que es la aspersión con glifosato la que ocasionó que esta riqueza forestal muriera, primero se marchita la corona foliar, después el estípite o fuste y así desde la parte superior hasta llegar a la parte inferior, esta palma tiene una particularidad, la raíz presenta estructuras modificadas llamadas neumatóforos que le ayudan a la planta a tener oxígeno por lo cual contaminación de las fuentes hídricas ocasionan un daño sistémico en la palma evidente en las fuentes hídricas" (Líder de la Comunidad 5, 2021).

Ilustración 146: Pérdida de la copa en palmas por el glifosato (0° 28' 33,6" N, 76° 25' 51,6" W)



Ilustración 147: Pérdida de la copa en palmas por el glifosato (0° 28' 33,6" N, 76° 25' 51,6" W)



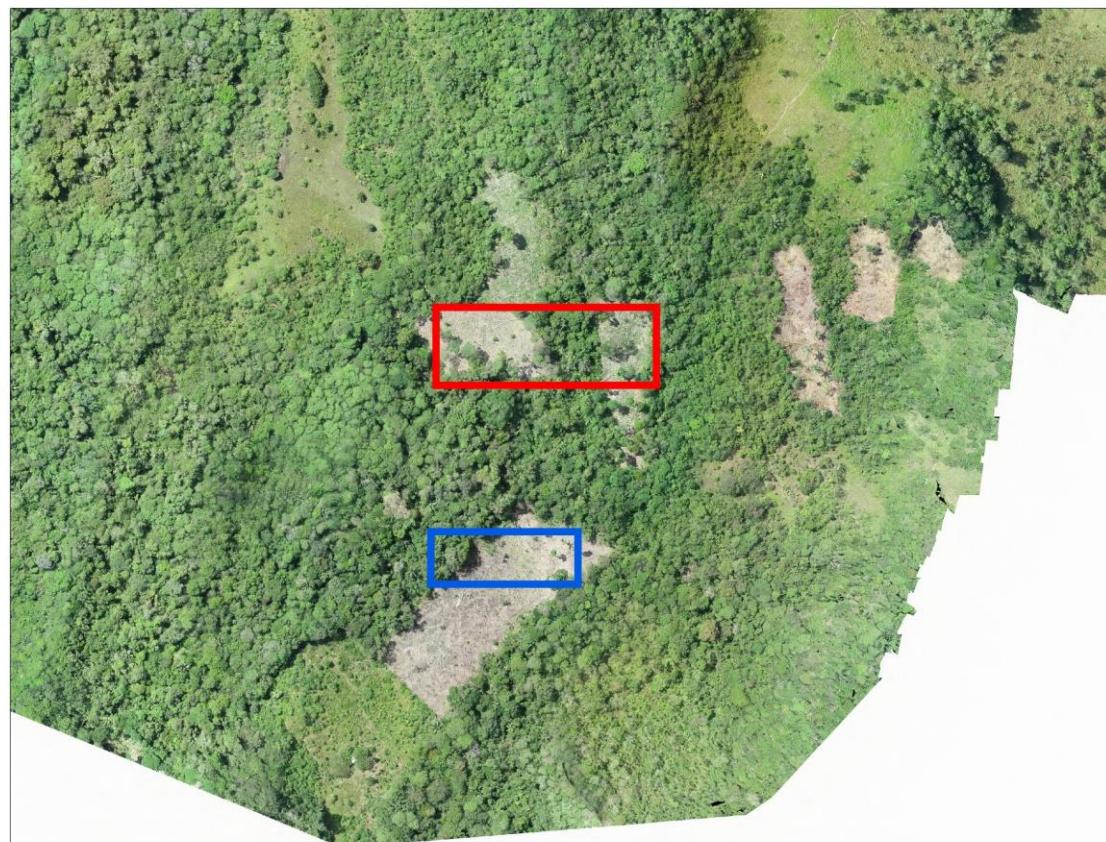
Ilustración 148: Pérdida de la copa en palmas por el glifosato (0° 28' 33,6" N, 76° 25' 51,6" W)



Con base en las visitas y testimonios se puede argumentar que fumigar con glifosato es una pésima medida para erradicar los cultivos de coca debido a que estos son pequeños, están dispersos (Ilustración 149) y el daño ambiental es enorme. Si bien destruyen el cultivo de coca al fumigar con glifosato, también se destruye toda la flora, fauna y recurso hídrico del entorno. Además, sus daños o impacto duran bastante tiempo. Las familias campesinas que en su mayoría dependen del agua de los ríos, quedan sin este recurso necesario para la supervivencia, lo mismo sucede con la fauna y flora: les envenenan el agua y los niños y personas mayores enferman.

En síntesis, la actividad lícita se lleva a cabo de una forma depredadora y las actividades ilícitas son difíciles de controlar debido a la presencia de grupos armados que dificulta la acción de los funcionarios encargados del control y de la vigilancia de los recursos naturales.

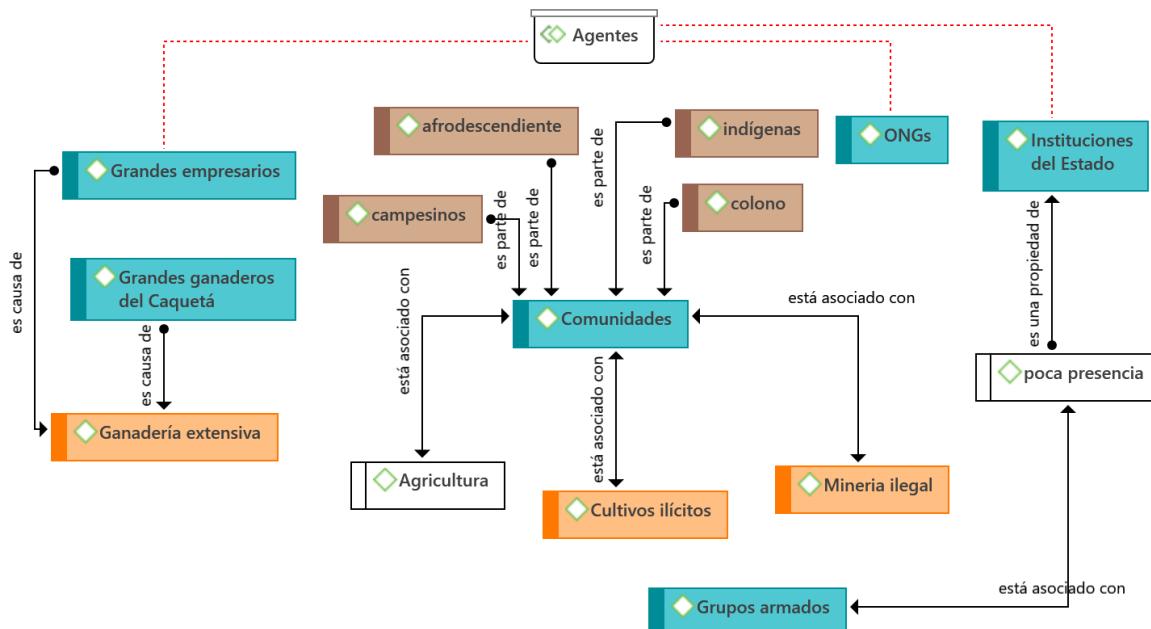
Ilustración 149: Toma de RPAS de cultivos ilícitos en el área de estudio



5.2.1.2. Percepción de los agentes del cambio de cobertura

Los agentes causantes del cambio de coberturas identificados en las entrevistas son: grandes empresarios ganaderos del departamento del Caquetá, comunidades, organizaciones no gubernamentales (ONGs), instituciones del estado y grupos armados al margen de la ley (Ilustración 150).

Ilustración 150: Relaciones que se dan entre los agentes relacionados con los cambios de cobertura



Fuente: Eraso et al., 2023

Los grandes empresarios ganaderos del departamento del Caquetá realizan la tala de bosque para transformar las tierras en pastos para la actividad ganadera, y su principal motivación es la acumulación de riqueza. Respecto a las comunidades, estas pertenecen a distintas etnias o grupos sociales que habitan en el territorio y en su mayoría realizan actividades para satisfacer necesidades básicas de subsistencia, como establecer cultivos de pancoger de yuca, de plátano y de maíz, tener gallinas y poco ganado (cerdos y bovinos). Algunos también establecen cultivos de coca o tumban árboles para la obtención de vigas, columnas y tablas para la construcción de viviendas, elaboración de puentes, obtención de cercos o la venta de los troncos aserrados en bloques. Las ONGs y las instituciones del estado tienen una presencia limitada en la región debido a la presencia de grupos armados al margen de la ley y las dificultades que esto representa para la seguridad de sus funcionarios y la implementación de políticas públicas, o también por la gran extensión de las áreas asignadas para control y vigilancia (Ilustración 150). La presencia de varios grupos armados ilegales en la zona ha generado enfrentamientos entre ellos por

el control del territorio y las actividades ilegales, lo que ha creado un ambiente de inseguridad y violencia que afecta a la comunidad local (Ilustración 151 e Ilustración 152).

Ilustración 151: Tala de árbol para hacer un puente, nótese el elevado nivel de desperdicio



Fuente: Funcionario ONG 4, 2022

Ilustración 152: Tala de bosque para hacer la apertura de un camino



Fuente: Funcionario ONG 4, 2022

Si bien es legítimo buscar la prosperidad económica, la destrucción del bosque a gran escala no es una práctica sostenible ni responsable. A continuación, se consultó sobre el tema con una ingeniera forestal con veinte años de experiencia en trabajo con comunidades forestales y que ha participado en procesos en núcleos de alta deforestación cerca al área de estudio:

“Respecto a las quemas de potrerización es clara la diferencia con aquellas para hacer potreros porque ni siquiera talan los árboles para aprovechar la madera. Al revisar aquellas áreas incendiadas, hay ausencia de la típica roza-tala-quema, dinámica que caracteriza las ampliaciones de frontera agrícola, en la cual, las comunidades primero cortan con herramienta manual, usualmente machete, lo referente al sotobosque; posteriormente talan los árboles con motosierra y obtienen diversos productos de los troncos; por último, queman para disminuir el tamaño de los residuos producto del aserrado, entiéndase ramas, orillos y agilizar el proceso de “domesticación del sitio”. Una vez el sitio se enfriá, riegan semilla de pasto al voleo, generalmente Brachiaria, y cuando el terreno está “empastado” llevan ganado para que empiece a comer. Las áreas como la mostrada en la fotografía, no son para establecer pasturas, porque es imposible poner ganado a pastar allí, un campesino lo primero que hace es tratar de sacar lo máximo de madera “gruesa” y quemar lo restante para que no queden troncos o ramas con los que el ganado pueda tropezar y se lastimen las patas, debido a que esto generalmente conduce a la muerte del animal”. Las imágenes a continuación (Ilustración 153, Ilustración 154, Ilustración 155) muestran la quema por parte de miembros de la comunidad pero financiada por un señor del Caquetá, que no vive cerca al sitio. No es miembro de la comunidad y se niega a participar en cualquier tipo de programa dirigido a frenar la deforestación, no permite que se saque la madera ni desea participar en programas de aprovechamiento forestal” (Funcionario ONG 4, 2023).

Ilustración 153: Evidencia de potrerización



Fuente: Funcionario ONG 4, 2022

Ilustración 154: Evidencia de potrerización



Fuente: Funcionario ONG 4, 2022

Ilustración 155: Evidencia de potrerización



Fuente: Funcionario ONG 4, 2022

El líder ganadero menciona varios problemas y soluciones en su entrevista. En primer lugar, destaca que la tierra del Putumayo no es adecuada para la ganadería debido a la humedad y otros factores (Ilustración 156), lo que limita la capacidad de los ganaderos para criar ganado en la zona:

“El problema es los pastos, la tierra del Putumayo no es apta para ganado por la humedad y muchos factores” (Líder de la Comunidad 2, 2022).

Ilustración 156: Áreas en pastizal sin uso ganadero



Además, menciona la falta de organización entre los ganaderos de la zona, lo que dificulta la cooperación y la resolución de problemas comunes. Sugiere que se necesitan mejores relaciones y colaboraciones entre los ganaderos para enfrentar estos desafíos:

“Nos falta, es como organización de que todos los ganaderos, pues a pesar de que hay un comité de ganaderos, pero la verdad somos bien desunidos” (Líder de la Comunidad 2, 2022).

Otro problema que menciona es la falta de regulación en los precios de la carne, lo que puede afectar significativamente a los ganaderos. El líder ganadero recomienda que se establezcan precios fijos y regulaciones para garantizar un comercio justo y equitativo:

“Recomendaciones de pronto a las autoridades, porque antes, alcaldes en reunión con ganaderos y los mismos carniceros se hacía reuniones y fijaban el kilo de carne tanto en consumo como se dice en la báscula como el kilo en pie, ahora eso no se da, el carnicero, sube la carne y al propietario de ganado antes le baja entonces eso hay un problema gravísimo en ese sentido, que no hay un de pronto, un precio fijo, una regulación de que si subió el carnicero, sube también el pie el ganado” (Líder de la Comunidad 2, 2022).

También destaca la importancia de la reforestación y el cuidado del medio ambiente en la ganadería. Propone la plantación de árboles maderables y leguminosos para mejorar la

calidad de los pastos y reducir la deforestación. Además, menciona que los árboles son importantes para proporcionar sombra y ventilación a los animales, lo que mejora su bienestar y salud:

“En la alimentación del ganado por lo menos hay árboles que son leguminosas como el cachimbo, que uno lo siembra y está ayudando al medio ambiente y hay árboles que sí, el pasto crece debajo de esos árboles como es Dalí o minícola eso el minícola es muy resistente a este clima y pasto de corte, hay mucho pasto de corte. Hay muchas formas, puede ser, aquí hay un vecino que está trabajando con maíz siembra el maíz y lo ensila eso, pues ayuda mucho tanto a la ganadería como también a la deforestación, porque en pocas hectáreas puede tener más cabezas de ganado” (Líder de la Comunidad 2, 2022).

Destaca que, aunque los árboles son beneficiosos para los animales al proporcionar sombra y ventilación natural, algunos ganaderos prefieren mantener sus fincas sin árboles por razones estéticas:

“El ganadero, pues, en muchas fincas no quieren ver un árbol y sabiendo que un árbol es un ventilador para el mismo animal, eso hay fincas que parecen sábanas sin un árbol y les parece muy bonito tener una finca sin árboles y una finca sin árboles no vale, como vale una finca que esté arborizada” (Líder de la Comunidad 2, 2022).

Sin embargo, el entrevistado considera que es importante brindar apoyo institucional y asesoría constante a los ganaderos, especialmente aquellos que tienen paradigmas muy radicales en cuanto a las prácticas de ganadería extensiva. De esta manera, se puede fomentar una cultura de conciencia y responsabilidad ambiental en la ganadería, incentivando la arborización de las fincas y la adopción de prácticas más sostenibles en la producción ganadera:

“Más asesoría para no deforestar o las mismas entidades colaborar con árboles maderables, eso sería muy importante porque sembrar un árbol que se seque o no sirva para hacer sombra tampoco” (Líder de la Comunidad 2, 2022).

Las comunidades expresaron su preocupación por la transición de la economía ganadera a una economía diferente, debido a que no había garantías como el acceso a vías de

transporte (Ilustración 157), la falta de cadenas de comercialización y la poca confianza que tiene la comunidad a las instituciones:

“Las vías inadecuadamente planificadas o realizadas de forma ilegal, razón más se abren y aperturan caminos, vías sin las debidas consideraciones ambientales no tener licenciamiento y eso hace que el crecimiento sea desordenado y no planificado” (Funcionario ONG 2, 2022).

Ilustración 157: Vía típica del área de estudio



Además, que muchas personas no están familiarizadas con la reconversión ganadera:

“Había comunidades que no conocían que era la reconversión ganadera, había otras que se rehusaban como a querer estar en esos escenarios. Decían que, pues ellos no estaban con el tema de la de la institución que no creían en la institucionalidad” (Funcionario Estatal 3, 2022).

5.2.1.3. Percepción del apoyo institucional para procesos de control y prevención de la deforestación

En lo que respecta al apoyo institucional en los procesos de control de la deforestación (Ilustración 158), se evidenciaron aspectos que no se relacionan en la bibliografía existente, como son, la poca confianza y difícil relación entre las mismas instituciones y los obstáculos

que se presentan al empalmar las ONGs con las autoridades regionales y locales. Estos problemas de empalme se deben a los cambios de funcionarios cuando se eligen nuevos gobiernos cada cuatro años, debido a que, se alargan los procesos, y, por ende, la llegada de las ayudas de cooperación internacional a los beneficiarios.

Por otro lado, las entidades territoriales, como las alcaldías y las gobernaciones, perciben que la comunidad no se compromete lo suficiente al participar en proyectos que promueven.

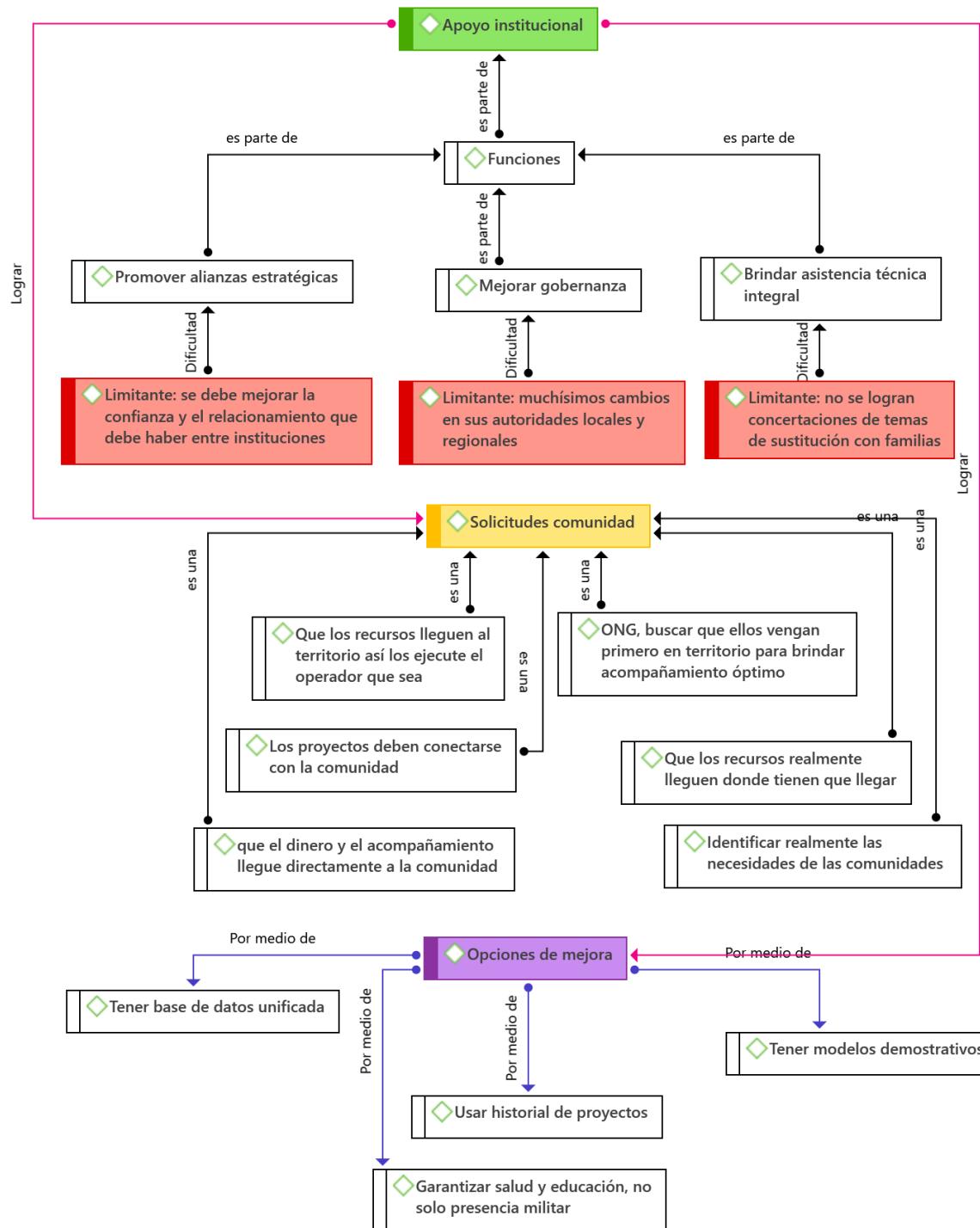
La comunidad ha expresado su deseo de que los recursos lleguen al territorio sin tanta burocracia e intermediarios, y que sean parte integral del proceso de formulación, ejecución y seguimiento de los proyectos. Además, han pedido que se identifiquen sus necesidades reales y que no se impongan modelos generados en ciudades. También solicitan que los recursos lleguen a donde deben de llegar.

Las alternativas ofrecidas por los agentes que intervienen directamente en la toma de las decisiones (altos directivos y exdirectivos de instituciones públicas y privadas), en ocasiones, no generan las respuestas esperadas en las comunidades objeto de los proyectos y la dinámica tendencial de disminución de cobertura se mantiene y, en ocasiones, se incrementa. La percepción de las entidades territoriales como alcaldías y gobernación es que las comunidades no se comprometen:

“Son pocos receptores a estos servicios que ofrecen los proyectos en muchas ocasiones, o sea, son muy inmediatistas. Ellos se organizan únicamente para recibir los incentivos y los servicios. Y en muchas ocasiones, reciben los insumos, los utilizan en otras cosas, el material vegetal en su buena cantidad a veces no lo siembran todo” (Funcionario Estatal 4, 2022).

Las instituciones han propuesto varias opciones para mejorar la situación. Una de ellas es tener una base de datos estandarizada y unificada que permita la consulta por todas las entidades que operan en el territorio, ya sean locales o regionales. Otra opción es tener modelos demostrativos agroforestales y silvopastoriles sostenibles con la Amazonía y con especies propias de la región.

Ilustración 158: Relaciones presentes en el apoyo institucional



Fuente: Eraso et al., 2023

Las peticiones de los habitantes son claras: que los recursos lleguen a los territorios sin tanto intermediario, que se haga un proceso previo de caracterización de las verdaderas necesidades a satisfacer, que las comunidades participen en el proceso de formulación para que los proyectos conecten con la gente y que las ONGs vayan primero a los territorios. Los funcionarios también han evidenciado opciones de mejora:

“En los núcleos de mayor deforestación, lo primero que debe realizarse para generar confianza con los actores es poder materializar derechos, para en esa medida, exigir los deberes, el respeto de la Constitución, la ley y las normas que establecen que las coberturas naturales deben mantenerse en pie, entonces si yo no materializo derechos, estoy en una posición, entre comillas, de ilegitimidad con los actores locales, porque ellos en muchos casos lo único que reconocen de la presencia del Estado es la fuerza militar y creo que eso se debe corregir, creo que en estos sitios debe haber una buena prestación de los servicios de salud, creo que puede haber una buena prestación de los servicios de educación, creo que puede haber una buena prestación de servicios de atención a la niñez y la infancia” (Funcionario ONG 2, 2022).

Se destaca la importancia de construir cadenas de abastecimiento cero deforestación para garantizar que los productos sean libres de deforestación, pero se reconoce que esto requiere una cultura de demanda por parte de los consumidores y la cooperación de actores locales, territoriales, nacionales e internacionales:

“Enfoques que debemos construir en el país son las cadenas de abastecimiento cero deforestación, como garantizamos que el queso que proviene de sitios como por ejemplo, Mayoyoque, sea libre de deforestación y que los consumidores primero reconozcan que es necesario a empezar a adoptar este tipo de Cultura dentro de la demanda que hacen de estos bienes, pero adicionalmente como los actores locales, territoriales, nacionales e internacionales se juntan en un proceso de avanzar en ese propósito” (Funcionario ONG 2, 2022).

Se enfatiza la necesidad de concentrar los esfuerzos donde está el problema y de generar confianza con los actores locales para abordar el problema de la deforestación y empoderar a las comunidades locales en el monitoreo de esta:

“Hay oportunidades de mejora en función de concentrar los esfuerzos donde están pasando los fenómenos, solo que usualmente donde suceden estos fenómenos es los sitios más complicados de toda la Amazonía, pero en esa medida, pues si no abordamos el problema, pues nunca vamos a tener una solución, eso implica garantizar unas condiciones que hemos denominado nosotros habilitantes, que es garantizar primero las condiciones de seguridad, pero eso también se construye a través de la generación de confianza con los actores locales, creo que parte de esa

confianza en algunos sectores se ha roto y es una tarea del Estado en su conjunto de nosotros también como organizaciones de contribuir en ese propósito y establecer relaciones de más de largo aliento y de confianza con las comunidades locales que allá allí habitan, creo que ellos tienen que ser sin duda protagonistas de estas soluciones y tenemos que tener la capacidad de construir esas soluciones con ellos, No llegar con las soluciones ya diseñadas desde la lejanía, a veces de estos sitios, la misma Mocoa está alejada, la misma Bogotá está kilómetros miles de distancias, entonces tenemos que generar las soluciones con ellos y creo que adicionalmente a eso también tenemos que empoderar a las comunidades en hacer este tema de condición de monitoreo” (Funcionario ONG 2, 2022).

5.2.1.4. Percepción de la educación como solución en el mediano y largo plazo

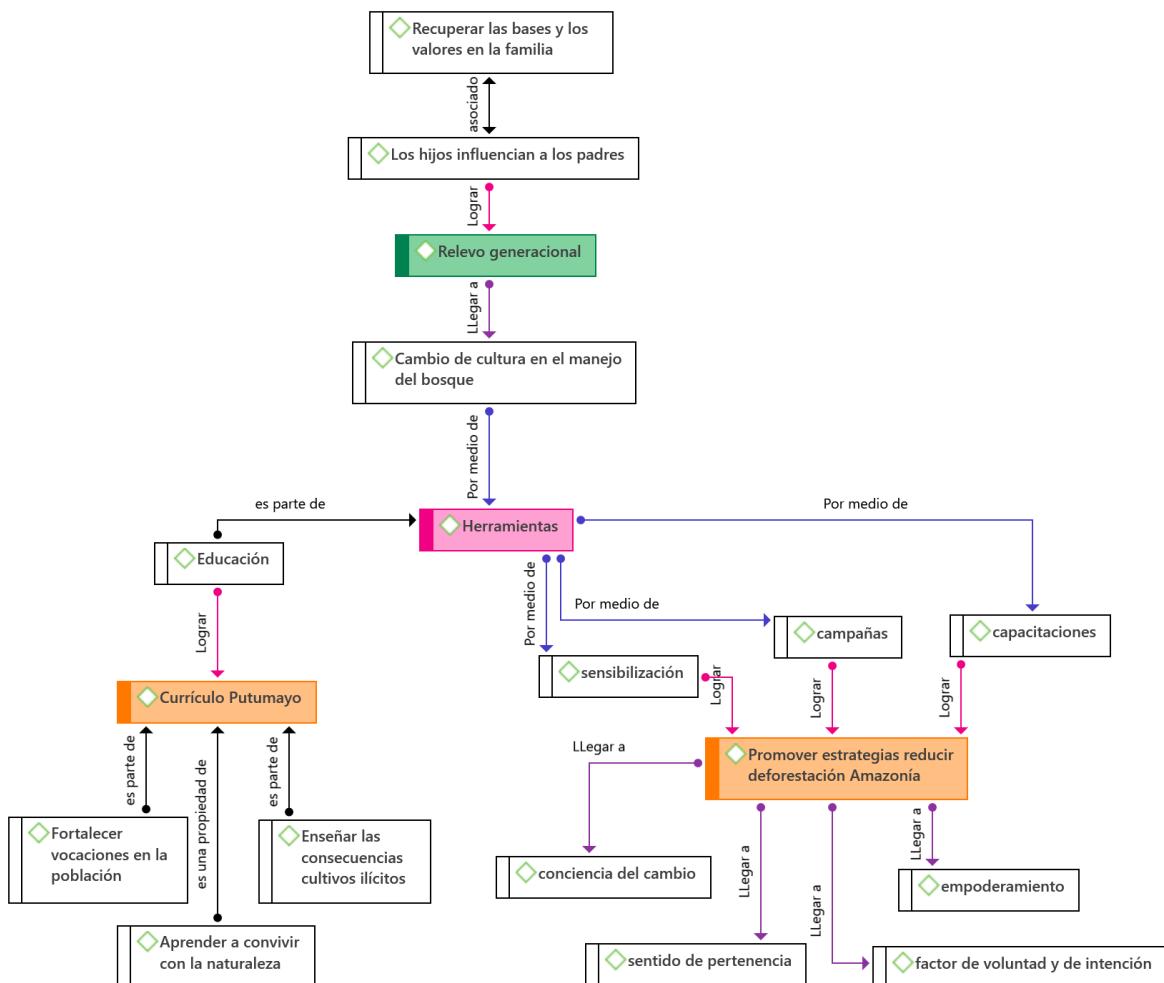
La deforestación en la Amazonía es un problema grave, los gobiernos están bajo presión y, a menudo, se han adoptado medidas cortoplacistas como el cambio de cultivos o los pagos directos. Sin embargo, durante las entrevistas realizadas, los participantes destacaron la importancia de la educación como solución a medio y largo plazo. Se enfatizó la importancia de la sensibilización, las capacitaciones y las campañas para fortalecer el sentido de pertenencia, el empoderamiento y la conciencia de cambio (Ilustración 159). La formación de las generaciones más jóvenes es fundamental para crear conciencia sobre la importancia de la conservación sostenible de la Amazonía y promover prácticas adecuadas en el futuro.

Se destaca que los entrevistados plantearon la educación como una opción para cambiar la forma de ver el bosque, por lo que era necesario enfocarse ya a un relevo generacional, en donde, los niños y niñas serían los llamados a convivir de una forma más racional con la naturaleza (Ilustración 159). Proponían como una de las acciones para lograrlo la creación de un currículo de educación local en Putumayo, que fortalezca las actividades propias de la región y se implemente en todos los niveles de educación, desde la primaria hasta la superior. Además, fortalecer esta estrategia por medio de jornadas periódicas y continuas de capacitación para la comunidad en general, con el fin de fomentar la participación y la conciencia colectiva sobre la importancia de la conservación sostenible de la Amazonía. A continuación, se ahonda en el anterior planteamiento:

“Lo único que nosotros tenemos como institución en la mayoría de los sectores alejados son los colegios sí y los únicos funcionarios que van de la institucionalidad y del gobierno nacional que hacen presencia allá son los profesores. Entonces, qué

bueno poder llegar a través de esa primera institución que tiene contacto con las primeras personas, que hacen parte de todo el proceso que tú dices, que a diez años poder, de pronto, llegar y cambiar toda una generación y generar ese tema de relevo generacional en el campo, pero a través de la educación que se pueda tener educación con vocación al tema de sostenibilidad y pues no quitar las líneas económica que son importantes que es la agricultura y el tema todo el tema pecuario que se realiza allá, pero con una vocación más hacia la Amazonía y con un tema más responsable" (Funcionario Estatal 3, 2022).

Ilustración 159: Relaciones que se dan en el concepto de educación



Fuente: Eraso et al., 2023

Los entrevistados sugieren la necesidad de un modelo o currículo educativo con una vocación hacia la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental, para que las comunidades puedan mejorar y tecnificar sus actividades sin tener que abandonar el campo. La

educación y la colaboración son vistos como herramientas clave para generar un cambio positivo en la zona:

“Qué importante sería que para estas regiones hubiera un modelo o un currículo Putumayo, sí que por ejemplo, a las personas que están en el campo, no tuvieran como ese anhelo de salir del campo, sino más bien esa tentativa de quedarse y mejorar y tecnificar de cierta forma para mejorar y para disminuir los impactos que se generan frente a diferentes actividades que se realizan allá, entonces decíamos que muchos de los colegios que están en esos sectores, tan lejanos, normalmente son académicos o muchas veces están orientados como al tema comercial y salen los chicos del colegio y pues no tienen como esa vocación hacia el campo sabiendo que todos vienen de padres campesinos” (Funcionario Estatal 3, 2022).

Se destaca la importancia de proporcionar oportunidades económicas y educativas a los niños y jóvenes de la región. Las organizaciones indígenas consideran que es necesario estar en igualdad de condiciones que aquellos que han invadido o transformado el territorio para poder defenderlo adecuadamente.

Por lo tanto, una apuesta importante es asegurar que los niños y jóvenes puedan acceder a la educación en condiciones cómodas, tanto en la escuela primaria como en la universidad. La educación puede ser una herramienta clave para crear conciencia sobre la importancia de preservar los bosques y fomentar un cambio de mentalidad en la comunidad. Además, se debe fomentar la discusión legítima y la contraprestación justa para aquellos que defienden el territorio:

“Le comentaba que nosotros no estamos digamos en función de acumular riquezas, cierto, pero las apuestas y los cambios mismos de la sociedad nos dan la visión de que nosotros debemos tener oportunidades económicas, digamos porque estamos en otro mundo y en otra sociedad competitiva. Nosotros tenemos la apuesta a que nuestros niños vayan a la escuela cómodos, tenemos la apuesta que nuestros jóvenes vayan a las universidades cómodos también, cierto, porque creemos que en función de defender el territorio, nosotros también debemos estar en las mismas condiciones de quienes nos han venido a invadir o que quienes nos han venido a transformar el territorio, entonces también desde las organizaciones indígenas, tenemos esa apuesta de que nuestros niños vayan a la escuela, vayan a la universidad y vuelva a la defensa del territorio, pues con igual de condiciones y con los mismos argumentos de contraprestación en función a la discusión digamos legítima” (Líder de la Comunidad 3, 2022).

5.2.1.5. Percepción de los procesos de sustitución de cultivos ilícitos

A través de las entrevistas se ha documentado de manera detallada los procesos de sustitución de cultivos ilícitos (Ilustración 160), que no siempre son bien acogidos por la comunidad, y que según lo plantean los funcionarios tanto gubernamentales, como de ONGs:

“Un cultivo lícito nunca logrará ofrecer una opción con un flujo de caja tan inmediato como el que ofrece un negocio ilícito, entiéndase cultivos de coca, tráfico de madera, minería ilegal, etc.” (Funcionario ONG 3, 2022).

Sin embargo, las comunidades prefieren su tranquilidad, porque la larga historia de violencia que ha tenido la región ha dejado marca y los habitantes prefieren menores ingresos pero también menos violencia. En estos aspectos, uno de los funcionarios describía la relación de sustitución-tranquilidad:

“Las estrategias de los programas de sustitución van orientadas para poder promover los aspectos de sostenibilidad, que, bajo ningún punto de vista, jamás se podrán lograr los ingresos, digamos tan abundantes que se dan dentro de las economías ilícitas. No obstante, los indicadores de violencia disminuyen de forma paralela a la disminución de los cultivos, entonces, significa que si las estrategias de sustitución y las demás estrategias que el Estado tiene y que los gobiernos disponen para su ejecución y materialización pueden servir, sí, porque en la medida en que se controlen los cultivos ilícitos, pues los indicadores de violencia también son mucho menores” (Funcionario Estatal 1, 2022).

No obstante, es al momento de proponer acciones a la tendencia de sustitución de cultivos ilícitos, cuando surgen dificultades, debido a que las propuestas no generan impactos significativos:

“Uno quisiera una sola política de desarrollo alternativo, pero por ejemplo más o menos desde 1980 hasta el 2002, nosotros contamos 25 programas de desarrollo alternativo cada uno con un marco diferente, pero con los mismos componentes y muchas veces, suena feo lo que voy a decir, descubriendo nuevamente que el agua moja y entrando en teoría a solucionar problemas, que tenían los anteriores proyectos, pero al mismo tiempo cayendo en los mismos baches” (Funcionario ONG 3, 2022).

Se ha observado que la comunidad no recibe con agrado algunas propuestas de sustitución, debido a que no generan impactos significativos o no se cumplen los plazos establecidos. Tanto los actores agentes de decisiones como la comunidad, coinciden en que para lograr una transición efectiva de cultivos ilícitos a actividades lícitas, se deben fortalecer las vías de acceso y la asociatividad de las comunidades, proveer asistencia técnica continua, construir centros de acopio y transformación de productos, y llevar a cabo campañas de comercialización de los productos propios de la región como lo muestra la Ilustración 160. Todo esto para lograr mayor calidad de sus productos, un encadenamiento productivo, mayor competitividad y un comercio garantizado. Pero para esto se requiere compromiso de las instituciones y de los habitantes a los que van dirigidos los diferentes proyectos.

El tema de la conservación ambiental es importante y se enfatiza la necesidad de que los sistemas propuestos para la sustitución de cultivos ilegales sean rentables económicamente y amigables con el territorio:

“Hasta donde lo lícito es viable económica y ambientalmente porque yo puedo proponer a la gente un traslado de una economía a la otra, pero si eso no es sostenible ambiental o comercialmente, en poco tiempo pueden volver nuevamente a sembrar las plantas de coca” (Funcionario ONG 3, 2022).

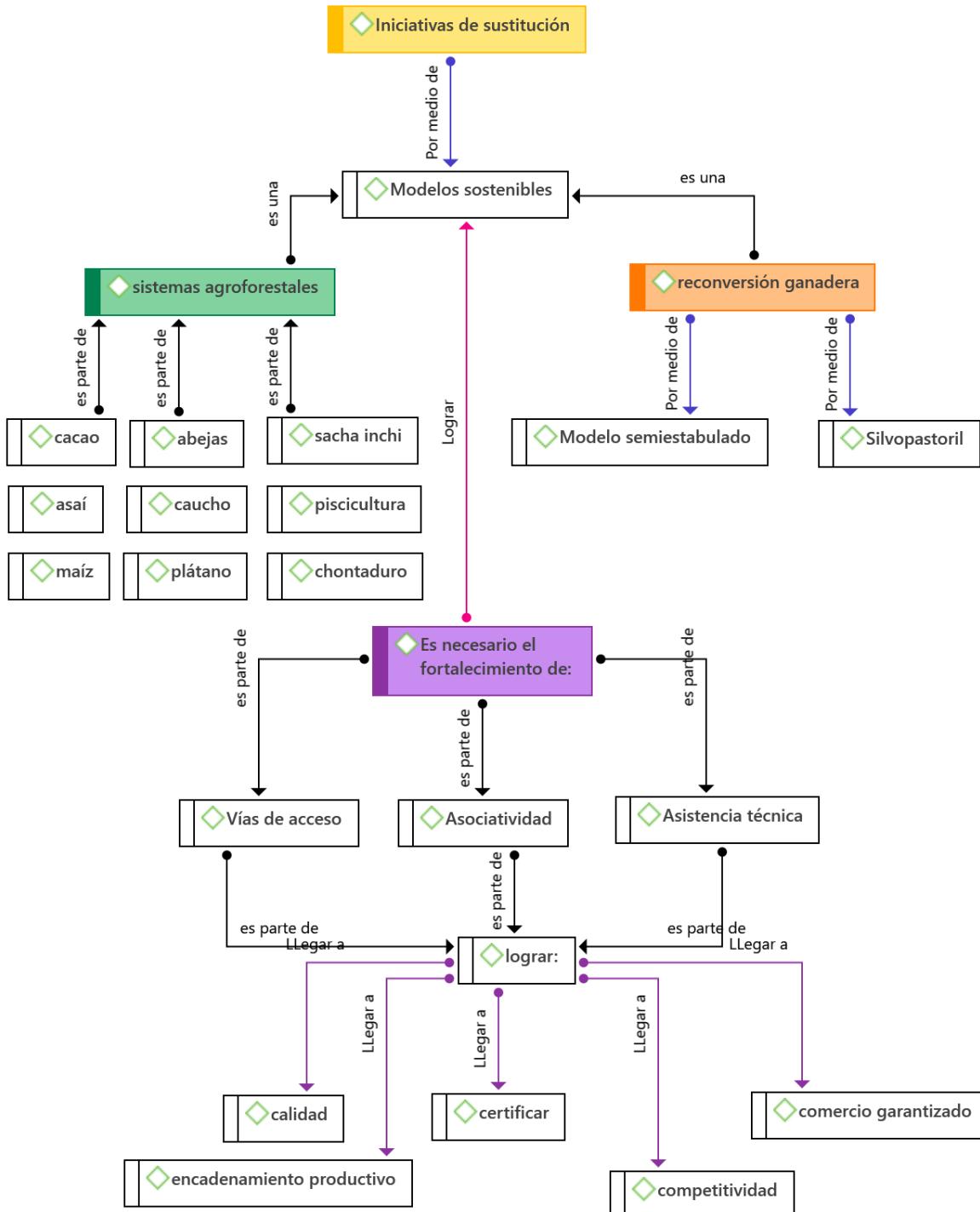
La problemática de los cultivos de coca y la producción de cocaína en el departamento del Putumayo, y las dos caras de esta economía ilegal, por un lado, el sostenimiento de la guerra y, por otro, la supervivencia de muchas familias. La idea principal es que no se puede abordar la cuestión únicamente desde una perspectiva punitiva y penal, sino que se deben proponer alternativas sostenibles y menos traumáticas para el tránsito de las comunidades hacia una economía legal:

“Los campesinos que tienen cultivos ilícitos, no tratarlos como criminales, son familias muy humildes que tienen bastantes dificultades para acceder a educación superior, para acceder a salud, que tratan o buscan medios para sobrevivir; de hecho, la pandemia, ellos los afectó tanto que una de las alternativas que vieron fue cultivos ilícitos y por eso es en este momento está aumentado la superficie de estos cultivos (Funcionario ONG 3, 2022).

Hemos visto en muchas familias que entraron al programa de sustitución cuando uno les pregunta bueno, si ustedes dicen que el estado les ha incumplido, porque

no han vuelto a sembrar la coca, dicen, no porque es que nosotros en este momento estamos más jodidos, pero estamos más tranquilos, no tenemos un flujo de raspachines que no conocemos en nuestras fincas, no estamos teniendo a los muchachos llamados a los grupos armados y estamos repensándonos las cosas, pero todo eso tiene un límite" (Funcionario ONG 3, 2022).

Ilustración 160: Relaciones de las iniciativas de sustitución



Fuente: Eraso et al., 2023

La falta de continuidad en las autoridades y la lentitud en los procesos administrativos son problemas que afectan la ejecución de los recursos destinados a la transición hacia una economía legal:

“Contras o los retos, como lo quieran denominar, institucionalmente el Putumayo ha tenido muchísimos cambios en sus autoridades, eso administrativamente golpea la ejecución de los recursos, porque técnicamente yo puedo tener un planteamiento donde yo empalmo una cosa con otra en un cronograma o en un plan de trabajo, pero cuando administrativamente empiezo a tener tropiezos porque no tengo alguien que me firme un acta de comité, porque no tengo un ordenador del gasto, porque no tengo una contraparte que avale decisiones, pueda que empiecen a tener problemas técnicos por una ejecución presupuestal que viene por un problema administrativo. Ese es un problema que tiene el Putumayo” (Funcionario ONG 3, 2022).

La competencia desleal de los narcotraficantes y la violencia que utilizan para controlar las cadenas económicas son un obstáculo para los cultivadores:

“Cuando yo tengo problemas o digamos o procesos administrativos largos para poder pagarle un recurso a un campesino, mientras que el grupo o el narco le entrega los 10 millones de pesos uno sobre encima del otro para que siembre la hectárea coca la competencia es difícil” (Funcionario ONG 3, 2022).

“El intermediario tranza todo esto a través de la violencia es un intermediario que termina manejando todas las cadenas cíclicas y económica en el territorio, o sea, yo puedo como cultivador sembrar mis matas de coca, pero no puedo vender a otra persona que no sea quien ellos autorizan, no puedo comprar precursores que no sean los que ellos me venden” (Funcionario ONG 3, 2022).

La construcción de confianza entre las comunidades y el Estado es fundamental. La implementación de políticas de desarrollo alternativo ha sido un reto debido a la falta de continuidad y coherencia en los programas implementados:

“Aquí en el Putumayo por la historia de guerra y masacres de todo lo cruel que ha habido, que el conflicto, aquí la gente mira el tema de la seguridad y la tranquilidad con mucho más valor que en otras regiones del país y ese es un factor interesante que hay que potenciar aquí, el vivir tranquilo” (Funcionario ONG 3, 2022).

5.2.2 La caracterización de las familias y la identificación de las causas productivas

El abandono estatal que caracterizó el área de estudio en los años anteriores a 1992, permitió la consolidación de grupos al margen de la ley en las estructuras del poder. En los territorios en donde los conflictos entre los pobladores eran frecuentes, y ante la inexistencia de policía o ejército, los grupos imponían el orden, incluso estimularon la: construcción de “juntas de acción comunal -JAC”, la construcción de vías, el arbitraje en problemáticas asociadas a linderos o acumulación de tierras, los controles del aprovechamiento de árboles y la cacería. Una vez esta figura de poder desapareció, el estado entró “controlando” la situación con la fuerza pública (CNMH, 2014).

Pero en estas áreas, largamente dominadas por grupos, tienen unas características que las hacen difíciles de “controlar” desde un sistema de gobierno con un marcado carácter “centralista”. Por ejemplo, la extensión del área, las vías precarias, la dispersión de la población, la poca rentabilidad de las opciones económicas licitas, la presencia de cultivos ilícitos, etc. Todos estos factores dificultan la presencia constante del estado en estos territorios.

Un ejemplo de esto es la omisión censal del año 2018 de los municipios en la región amazónica, que fue del 12% (frente al 8,5% nacional). Esta situación no es exclusiva del último censo y suele explicarse por la dispersión de la población, las dificultades de acceso a ciertas zonas y los problemas de orden público (Meisel et al., 2013). En algunos municipios amazónicos como Puerto Guzmán, la omisión superó el 50%, lo que significa que más de la mitad de su población se estimó bajo criterios estadísticos (Uribe & Guzmán, 2022).

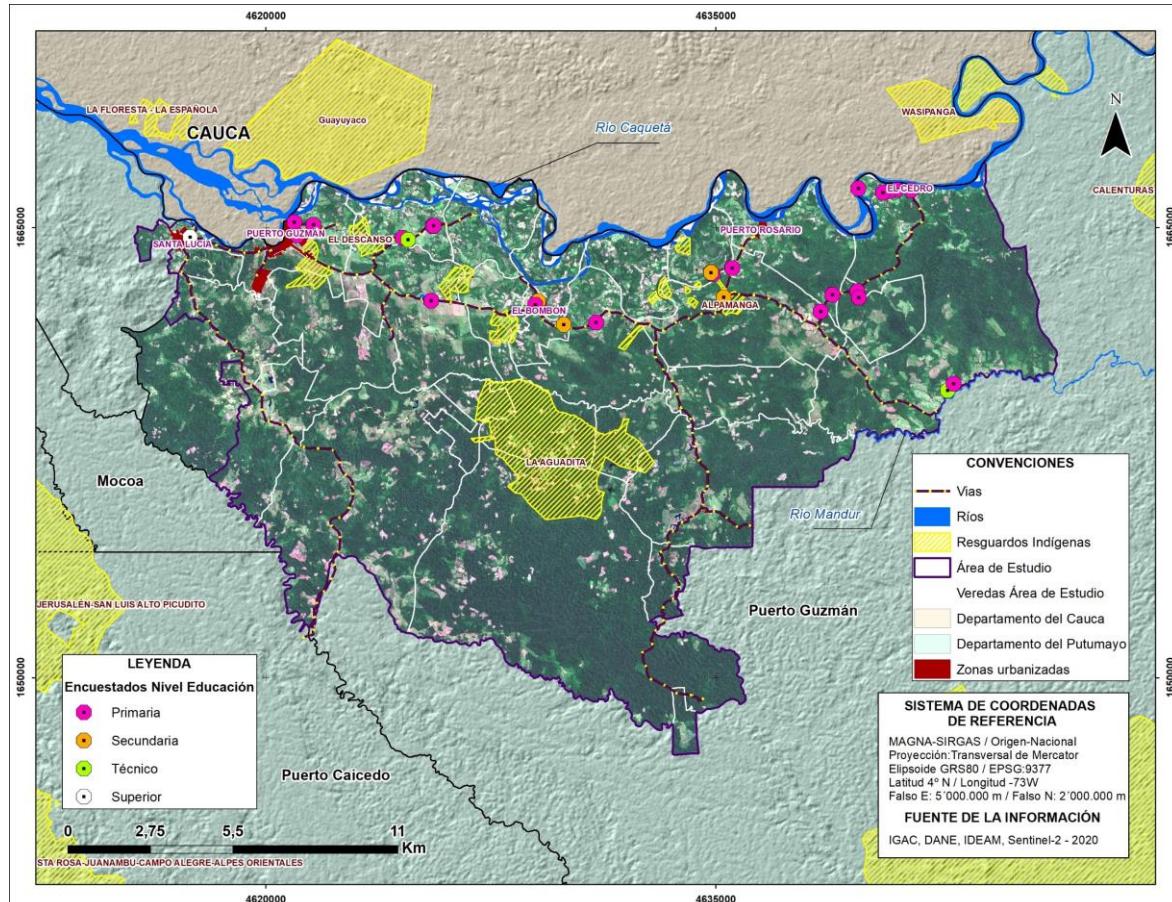
Siendo el objetivo de este documento entender la dinámica de la deforestación, era necesario una caracterización de mayor profundidad. Era necesario validar para el área de estudio si lo que muestra el estado colombiano en sus cifras y publicaciones²³ representaba de una forma fiable la realidad del territorio. Por ende, las encuestas fueron dirigidas a realizar la caracterización de las familias e identificar sus actividades productivas; estudiar la dinámica espacial y temporal de las coberturas e identificar las prácticas asociadas al cambio de coberturas.

²³ Se usó lo reportado por el CEIR en su estudio “Municipio de Puerto Guzmán (Putumayo): diagnóstico socioeconómico y de producción agropecuaria (2010-2019)” elaborado por la Universidad de la Salle en el Centro de Estudios e Investigaciones Rurales -CEIR en el 2023.

En una primera instancia, es preciso señalar que la mayoría de la muestra de población trabajada pertenece a “rural disperso”, que concentra, según los datos del DANE, a más del 86% (esta categoría incluye también a centros poblados, pero excluye a la cabecera municipal). En este punto hay que recordar que las encuestas fueron realizadas bajo una metodología cualitativa, debido a que, las restricciones derivadas de la situación de orden público dificultan manejar un muestreo al azar, al no ser posible acceder a sectores del territorio. Por lo tanto, se priorizó más ceñirse a casos elegidos que proporcionen la mayor riqueza de información posible para estudiar en profundidad la problemática, que a la cantidad.

Como se puede evidenciar en el mapa (Ilustración 161), las encuestas se localizaron en los márgenes de las vías, a excepción de aquella que pasa cerca al resguardo La Aguadita, por ser un sector con acceso restringido por los grupos al margen de la ley.

Ilustración 161: Ubicación de las encuestas



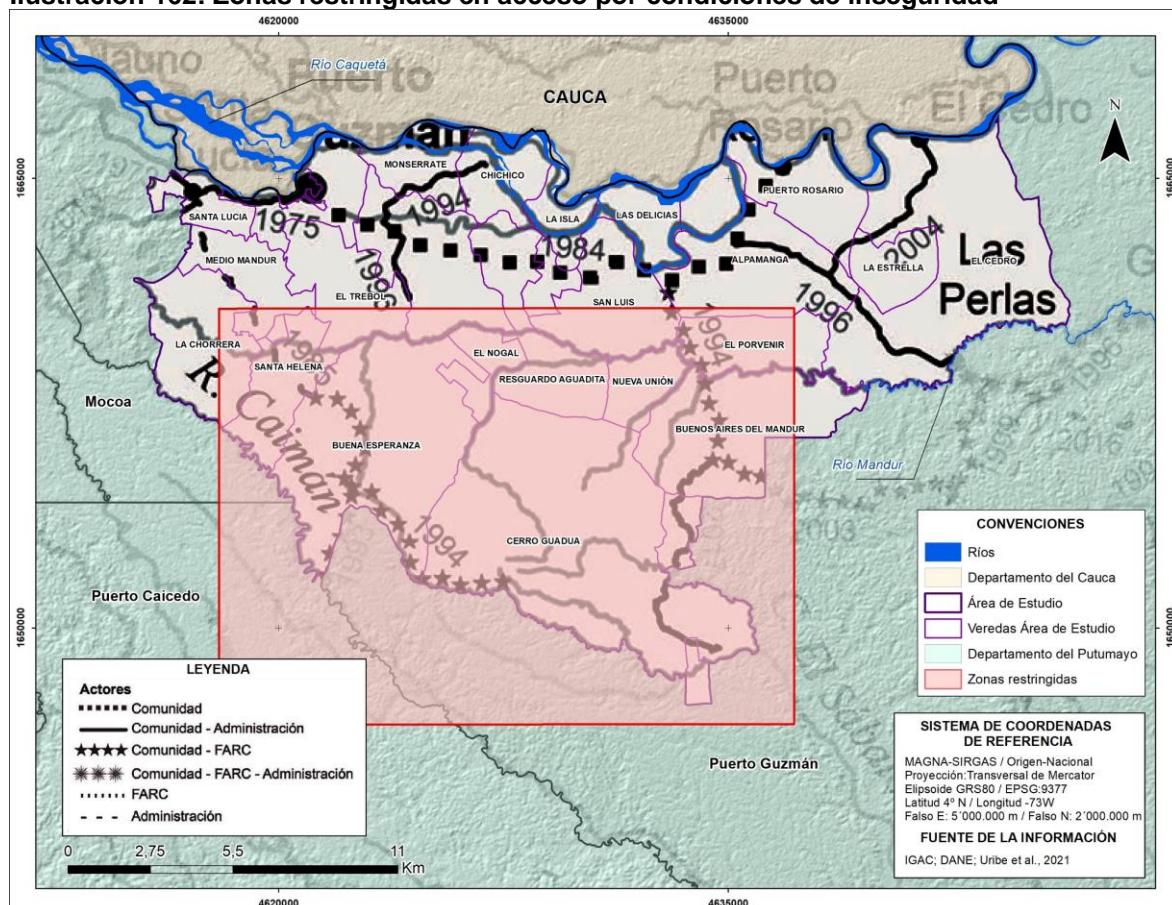
Los 30 encuestados eran cabezas de familias, el 63% (19) hombres y el 37% (11) mujeres. Las edades de los encuestados se concentraron con un 70% por encima de los 40 años (40-49: 23%, 50-59: 27%, >60: 20%), el 30% restante se distribuyó en edades entre los 20 y los 39 años. Referente a educación, el 73% de los encuestados solo llegaron a la primaria, lo que supera a lo reportado por el “Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) del año 2018 del DANE” donde es del 55,8% de la población de rural-disperso que llegó a este nivel educativo. La secundaria la estudiaron el 22% (DANE, 2018), pero según las encuestas el 17%. La educación superior la hicieron solamente el 6,79% (DANE, 2018) pero según las encuestas de la investigación el 10%.

Respecto a las familias de cada uno de los encuestados, el 30% tienen cinco miembros, el 23% dos y el 17% cuatro. El 31% (20 individuos) están entre los 0-17 años; el 60% entre 18 y 60 años (63 individuos) y el 9% corresponde a mayores de 60 años. Esta información valida lo informado por el CEIR (2023), debido a que reporta que el 33% corresponde a los niños entre 0-14 años, el 58,5% a adultos de 15 a 59 años y 8,1% a mayores de 60 años.

Respecto a la época de llegada de las personas encuestadas a la región, el 43% llegó en la década del 2010 al 2020, un 20% entre el 2000 y el 2010, otro 20% entre 1990 y el 2000, por último, un 17% antes de 1990. Esto permite inferir que el poblamiento de esta zona, al menos por parte de los encuestados (1990-2000), se dio posterior a la presencia estatal (1992). Se puede afirmar también que se tuvo un segundo momento de entrada de comunidad entre el 2000 y el 2010, que coincide con la construcción de vías por parte de la comunidad y la administración (Ilustración 162).

El hecho de que la administración haya podido construir vías, indica que no tuvo problemas para el ingreso al territorio, y, por ende, se percibió una sensación de “seguridad” para establecerse en el área. Si puede entrar el estado representado por la administración municipal (alcaldía), las personas asumen que pueden realizar actividades productivas y quedarse en los territorios sin sentir amenazadas sus vidas. A la fecha de las encuestas estos sectores (área de influencia de las vías en línea continua construidas en 1996 y el 2004, vereda las Perlas) no tienen restricciones de acceso tan drásticas como otros (área destacada por el polígono rojo de la Ilustración 162), en donde destaca la presencia de vías hechas de forma conjunta entre la FARC y la comunidad (Ilustración 162). El 43% de la gente que llegó en la década del 2010 al 2020, coincide con la época de la firma de los acuerdos de paz, lo que generó una época de “ausencia de poder” en la cual, la gente aprovechó para llegar y colonizar terrenos a los que antes no se podían acceder.

Ilustración 162: Zonas restringidas en acceso por condiciones de inseguridad



Fuente: adaptado a partir de Uribe et al., 2021, p. 94

El 67% (20) le gustaría que sus hijos continuaran con sus mismas actividades económicas, es decir, que no se fueran de la región y trabajaran la tierra, mientras que el 33% restante manifestó que le gustaría que sus hijos se desplazaran a las ciudades al haber mayores oportunidades. Todos coinciden en que la dificultad para acceder a la educación superior son los costos que implican porque deben de desplazarse a otros municipios.

En cuanto a las actividades productivas y en relación con el lugar de trabajo, el 60% trabaja en su predio solamente, y el 23% trabaja tanto en su predio como en otros por días. El 80% son propietarios individuales, el 17% propietarios colectivos y un 3% arrendatarios. El 83% (25) se dedica a sembrar cultivos agrícolas, destaca el mosaico de plátano-yuca-maíz con un 40%, seguido del mosaico yuca-plátano-maíz con un 24% (el orden del cultivo indica una mayor extensión en área sembrada), y finalmente, el 36% restante tienen, además de los cultivos mencionados, caña, cacao, piña y chontaduro. El 87% (26 encuestados) no pertenecen a ninguna organización de productores, el 73% (22) ha recibido asistencia

técnica y solo el 17% (5 personas) tienen crédito para las actividades del predio, mientras que el 83% (25) trabajan con recursos propios.

Respecto a identificar las prácticas asociadas al cambio de coberturas, señalaron que la actividad que más causa pérdida de bosque es la de pastos para ganadería (50%), seguido de minería (27%), cultivos ilícitos (20%). Respecto al aprovechamiento forestal solo una persona (3%) la relaciona como la actividad más impactante, pero todos coinciden en que la motivación para realizar estas actividades es el ingreso económico. Por último, el 87% (26) estarían dispuestos a sembrar cultivos forestales o agrícolas en áreas de pastos si tuvieran apoyo, frente a un 13% (4) que no. Las personas que respondieron negativamente manifestaron que la ganadería es más rentable y que la tierra de pastos no es apta para cultivos debido a que queda apretada y maltratada debido a la ganadería.

Respecto a la caracterización de actividades pecuarias y agrícolas, de los 30 encuestados, 10 respondieron poseer bovinos (33%) y los restantes 20 manifestaron que no (66%). Ahora bien, el 10% (3 encuestados) poseen entre 1-5 bovinos; el 20% (6), entre 5-30 bovinos y un solo encuestado (3%) posee +de 30 animales. Un 10% (3 encuestados) cuenta con establo, y un 20% (6) tiene potreros, 2 no respondieron. Respecto a infraestructura, 9 de los 30 (30%) indicaron que contaban con cercados y 20 (66% encuestados) contaban con guadaña (herramienta que cuenta con motor de 2 tiempos para cortar pasto). El que tiene más de 30 bovinos cuenta con saladeros en el potrero. Respecto a extensión de los predios de los encuestados respondieron (Tabla 57):

Tabla 57: Rangos extensión predial

Rangos extensión predial	Cantidad de predios
> 1 y ≤ 2,5 ha	3
> 3 y ≤ 5 ha	14
> 5 y ≤ 10 ha	7
> 10 y ≤ 20 ha	5
> 20 y ≤ 50 ha	1

Al compararse con los datos de extensión predial (Tabla 58) de Base de datos Catastrales Cobertura Departamental (IGAC, 2023), se tiene:

Tabla 58: Datos prediales área de estudio en contraste datos encuestados

Rango de Tamaño	Predios	% Rango predios	Cantidad predios encuestados	% de predios en la categoría
> 0,5 y ≤ 1 ha	45	5,81%		
> 1 y ≤ 2,5 ha	69	8,91%	3	10,00%
> 2,5 y ≤ 3 ha	14	1,81%		
> 3 y ≤ 5 ha	65	8,40%	14	46,67%
> 5 y ≤ 10 ha	122	15,76%	7	23,33%
> 10 y ≤ 20 ha	182	23,51%	5	16,67%
> 20 y ≤ 50 ha	178	23,00%	1	3,33%
> 50 y ≤ 100 ha	67	8,66%		
> 100 y ≤ 200 ha	17	2,20%		
> 200 y ≤ 500 ha	4	0,52%		
> 500 y ≤ 1.000 ha	7	0,90%		
> 1.000 y ≤ 2.000 ha	2	0,26%		
> 2.000 y ≤ 5.000 ha	2	0,26%		
Total	774	100%	30	100%

Lo que desprende de la Tabla 58 es que, a diferencia del área de estudio, que concentra el tamaño de los predios entre > 10 y ≤ 20 ha y > 20 y ≤ 50 ha, los encuestados tienen, en su mayoría, predios entre > 3 y ≤ 5 ha y entre > 10 y ≤ 20 ha. No obstante, este dato puede no ser fiable porque son estimaciones que hacen los encuestados sobre la extensión de sus predios. Sobre esta extensión predial, el autor de este estudio consultó a la psicóloga.

A continuación, su percepción de las actividades económicas del área de estudio:

“Ahora bien, sí vamos a hablar acerca de las familias que tienen, pues Puerto Guzmán es catalogado como la despensa agrícola. Sí, acá la mayoría de las personas cultivan es plátano, yuca, maíz, piña, pero son muy pocas las personas que tienen ganado en especial se dice que la vereda Las Perlas es donde más tienen ganado y también en la Ye, entre el cruce de Las Perlas y el Cedro Putumayo allí encontramos una finca muy grande, muy extensa, esa familia se dedican especialmente a la ganadería tienen sus buenos establos, hechos en concreto, los perfiles hechos en hierro y ellos también tienen lo que son búfalos, entonces ellos lo que hacen es trabajar con la carne y también con la leche y el queso” (Funcionario Estatal 5, 2023).

A la pregunta de “¿Le gustaría aplicar ganadería semiestabulada y mejorar las pasturas existentes si tuviera apoyo?” 8 (27%) de los encuestados respondieron que no, mientras que 20 (67%) respondieron que sí, y 2 no respondieron (6%). En este punto es bueno considerar que la ganadería semi estabulada tiene una mayor demanda de mano de obra y de infraestructura, y el precio del ganado es el mismo. La gente, aunque al principio acepta a ganadería intensiva debido a que hay apoyos por parte de entidades, difícilmente sostienen el sistema en el tiempo, porque el ingreso monetario por la venta de ganado es el mismo. Además, los costos de este tipo de ganadería se incrementan porque el requerimiento de personal es alto y la estructura a mantener también. Todo esto necesita mano de obra, pero si se toma que la gente gana más dinero trabajando en cultivos ilícitos minería ilegal, se constituye un reto el mantenimiento del sistema en el tiempo.

Y para finalizar, a los encuestados se les solicitó una serie de recomendaciones hacia las entidades que financian proyectos para combatir la deforestación las cuales se muestran en la Tabla 59. A efectos de facilitar el diligenciamiento se les ofreció una serie de opciones, de las cuales podían elegir una o varias.

Tabla 59: Recomendaciones de la comunidad a las entidades que financian proyectos para disminuir la deforestación

Id	Recomendaciones de la comunidad a las entidades que financian proyectos para disminuir la deforestación	# de votos	%
1	Campañas de siembra para regeneración con semillas o renuevos de los predios fortaleciendo al productor económicamente	22	32%
2	Acompañamiento técnico con profesionales de la región	3	4%
3	Remuneración por Conservación de bosque (Fácil Accesibilidad del programa y remuneración justa)	10	15%
4	Fortalecimiento en mejorar la capacidad de carga en las actividades ganaderas (Pastos mejorados, silvopastoril)	9	13%
5	Remuneración por Conservación de bosque (Fácil Accesibilidad del programa y remuneración justa)	10	15%
6	Suministro de plántulas o semillas propias de la región, que provengan de viveros certificados y de la región	7	10%
7	Apoyo en la migración desde las actividades económicas con mayor impacto de deforestación (Ganadería, Minería, Piscicultura) hacia actividades agrícolas	4	6%
8	Campañas de siembra para regeneración con semillas o renuevos de los predios fortaleciendo al productor económicamente	3	4%
	TOTAL	68	100%

A forma de cierre es importante señalar que el cuestionario aplicado era el sugerido por el documento del IDEAM “Caracterización de las causas y agentes de la transformación del bosque natural en Colombia: avances y perspectivas”, el cual señala “cuando la

herramienta de recolección de información primaria seleccionada sea la entrevista o encuesta, el desarrollador debe implementar el formulario base consignado en el anexo. El desarrollador podrá ampliar más no modificar las preguntas del formulario base" (IDEAM, 2018 p. 38). Sin embargo, en el presente estudio el cuestionario se aplicó al momento de realizar las encuestas (la única adaptación que se hizo fue que se realizó a través de dispositivo móvil y no con hojas físicas) y se notó que tiene debilidades entre las que se mencionan las siguientes:

- No es posible realizar este tipo de encuestas en algunas zonas rurales como por ejemplo el área de estudio, debido al orden público. Donde incluso el DANE no tiene acceso para realizar el censo y tiene una omisión censal muy alta.
- Las personas se muestran muy a la defensiva y prefieren no hablar de temas delicados como cultivos ilícitos o minería ilegal por miedo.
- La encuesta es demasiado extensa.
- Muestran desagrado y prefieren no responder a preguntas tan específicas como recursos económicos de sus actividades económicas.

5.2.3 Contraste entre la información primaria y la secundaria de las causas y la problemática de la deforestación

Para una mayor facilidad comparativa de las causas halladas, se presenta a continuación las matrices Vester y los árboles problema para 1) la revisión de literatura y 2) las encuestas y las entrevistas.

5.2.3.1. Matriz de Vester y árbol de problemas de la información secundaria

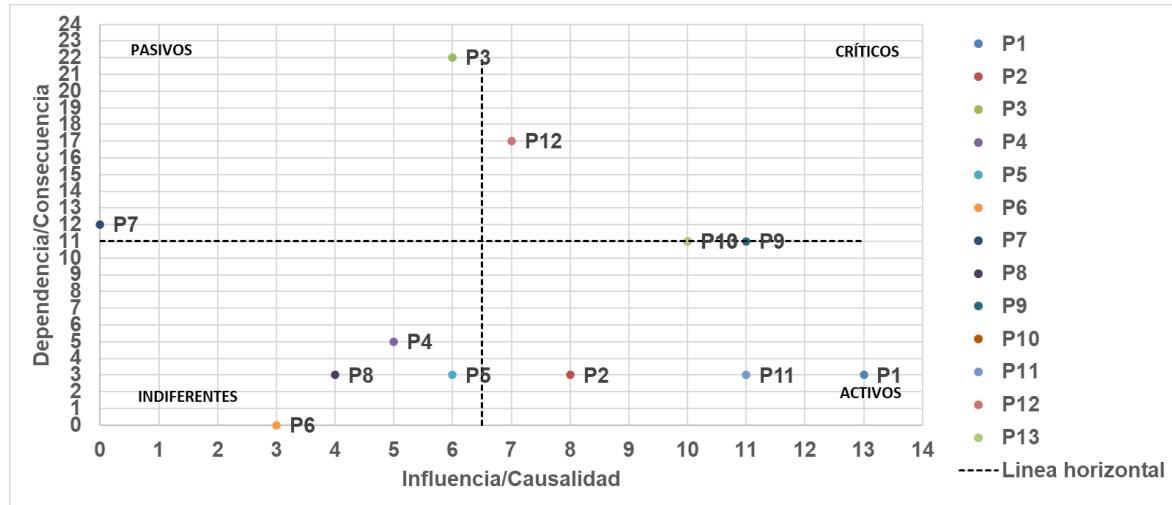
Para el caso de la revisión de información secundaria se listaron 18 problemas, y posteriormente se enfrentaron entre sí (Tabla 60), basándose en los criterios de clasificación citados por González & Rodríguez (2022), explicados en el apartado 4.2.3.

Tabla 60: Problemática según información secundaria

Código	Variable	Situación problemática																		INFLUENCIA
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	
P1	Putumayo es un territorio extenso		0	1	2	0	0	0	2	1	2	2	0	1	1	1	0	0	0	13
P2	Zona limítrofe con otros países	2		0	2	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	8
P3	Frente de colonización con un acelerado proceso de deforestación, localiza en "arco de la deforestación"	0	0		1	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	6
P4	Diversidad étnica (colonos, comunidades indígenas, afrodescendientes)	1	0	0		0	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5
P5	Suelos ultisoles, pobres en materia orgánica y ácidos. Están condicionados por el clima.	0	0	2	0		0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	6
P6	Piso térmico Cálido: 0 y 1000 msnm, con T° media anual sup a 24 °C, altas precipitaciones	0	0	0	0	3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
P7	Disminución de la capacidad de regulación hidrica y climática del bosque, y su función como habitat	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P8	Dispersión de la población	0	0	0	0	0	0	0	0		2	0	0	2	0	0	0	0	0	4
P9	Dificultades de acceso del estado (autoridad ambiental, policia, etc.) a ciertas zonas por orden público	0	0	3	0	0	0	0	0		0	0	2	0	0	0	2	2	2	11
P10	Control del territorio por grupos al margen de la ley	0	0	2	0	0	0	0	0	3		0	0	3	0	0	0	2	0	10
P11	Abandono estatal	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3		3	0	1	0	0	0	2	11
P12	Trabajo informal (93,4 %), bajo logro educativo (76,4 %), sin acceso a fuente de agua mejorada (53,6 %), inadecuada eliminación de excretas (38,6 %)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0		2	1	1	2	0	0	7	
P13	Aumento de cultivos de coca	0	0	2	0	0	0	2	0	0	3	0	0		0	0	0	3	0	10
P14	Concentración de la tenencia: 4 propietarios, con predios de 1000 y 5000 ha, concentran el 31% del área de estudio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0		3	2	0	0	7
P15	Ganadería extensiva: promedio de 0,7 cabezas /ha, muy inferior al promedio nacional de 1,2 cabezas/ha	0	0	3	0	0	0	3	0	0	1	1	1	0	0		3	0	0	12
P16	Praderización por agentes que generalmente cuentan con poder adquisitivo y no suelen vivir en las zonas	0	0	3	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	3	0		0	0	9
P17	Lucha por el control de la producción de coca en la zona (La Silla Vacia, 2021)	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0		0	6
P18	Pactos de desarrollo alternativos al cultivo de coca pero los recursos quedaron en ámbitos burocráticos (p.108)	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	2	1	0		12
DEPENDENCIA		3	3	22	5	3	0	12	3	11	11	3	17	11	6	9	10	7	4	48

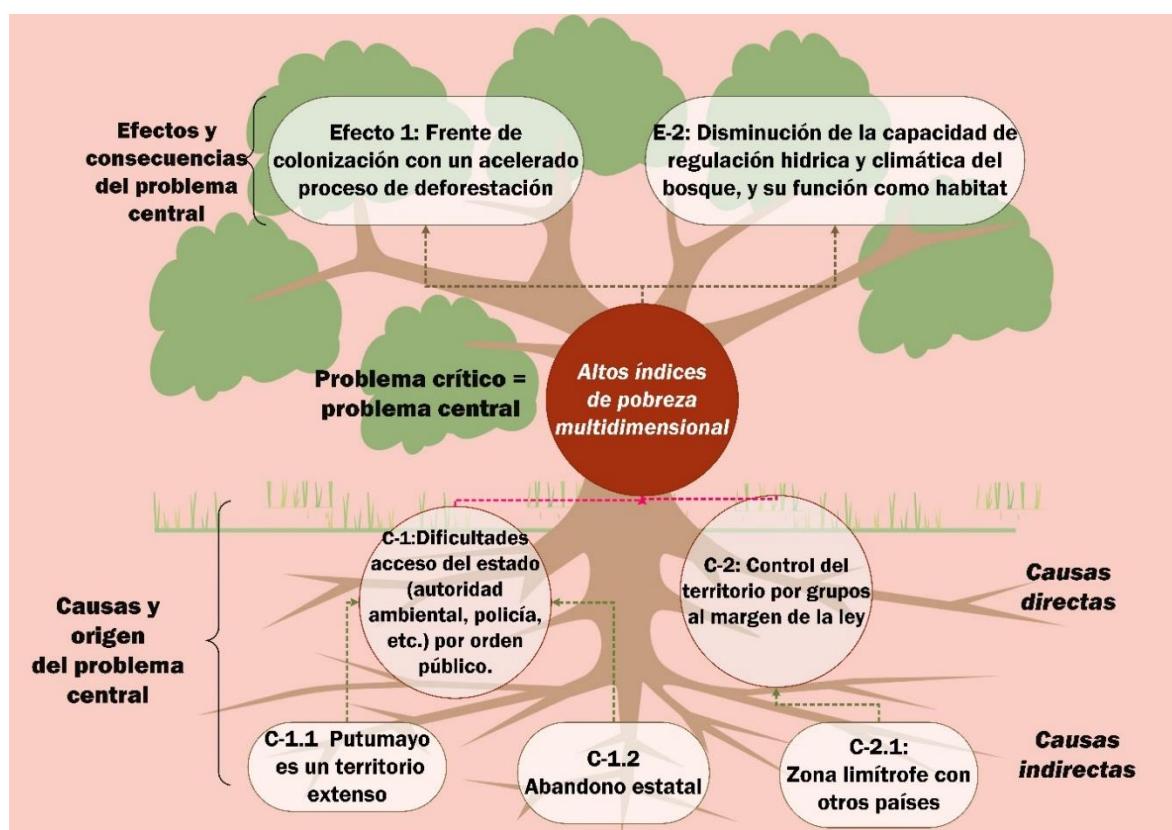
Para manejar de una forma más resumida los anteriores problemas se muestran en una matriz de Vester (Ilustración 163) para priorizar las causas e identificar las críticas y obviar las indiferentes.

Ilustración 163: Matriz de Vester información secundaria



La matriz permitió excluir aquellos problemas que quedaron en el cuadrante de indiferentes y que hace referencia a las condiciones edáficas (suelos ultisoles, pobres en materia orgánica y ácidos), las climáticas (de alta temperatura y precipitación), las de diversidad étnica (colonos, comunidades indígenas, afrodescendientes) y las de dispersión de la población. Las demás situaciones identificadas como problemáticas se categorizaron en causas (problemas del cuadrante de activos) y efectos (problemas del cuadrante de pasivos), y el problema crítico, es decir, el origen de la problemática (Ilustración 164).

Ilustración 164: Matriz de Vester información secundaria



La revisión de fuentes y el contexto del área de estudio señalan como problemática central los altos índices de pobreza multidimensional. El control de los grupos al margen de la ley, y las dificultades de acceso del estado, condicionan esta situación de forma directa. Esta situación, se llegó porque el territorio es extenso, se dio un abandono estatal por décadas que permitió el afianzamiento de los grupos y se generó una deuda en el cumplimiento de las necesidades básicas de los pobladores. Además, su condición de zona de frontera hace que la región sea “especialmente afectado por ser parte de la ruta del narcotráfico”. Los efectos son que se tenga un frente de colonización activo y se afecten las funciones ecosistémicas que cumple el bosque.

5.2.3.2. Matriz de Vester y árbol de problemas de la información primaria

Ahora bien, la problemática extraída de la información primaria obtenida a partir de las encuestas y entrevistas, fue listado en 13 variables (Tabla 61).

Tabla 61: Problemática según encuestas y entrevistas

		Situación problemática													INFLUENCIA
Código	Variable	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	
P1	Cambio de cobertura natural forestal a pastos		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	Perdida de confianza en las instituciones del estado	0		0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2
P3	Alto índice de pobreza multidimensional	2	2		0	0	0	2	0	1	2	0	2	0	11
P4	Suelos no aptos para actividades agropecuarias	2	0	0		0	0	2	1	0	1	0	2	0	8
P5	Abandono estatal	0	2	2	0		2	0	0	2	0	0	2	0	10
P6	Control del territorio por grupos al margen de la ley	1	2	1	0	0		0	0	0	0	1	0	0	5
P7	La comunidad prefiere la ganadería sobre los cultivos	3	0	0	0	0	0		0	2	2	2	0	0	9
P8	Las economías ilícitas son muy rentables	2	0	0	0	0	3	0		2	1	2	0	0	10
P9	Potrerización para acaparar territorio	3	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	3
P10	Comunidad acepta financiación para cambio de coberturas de gente ajena al territorio	2	0	0	0	0	0	0	0	3		3	1	0	9
P11	Los esfuerzos para frenar la deforestación no funcionan	3	2	0	0	0	0	2	1	0	0		0	0	8
P12	Actividades de cultivos lícitos son poco rentables	2	0	2	0	0	0	2	0	2	2	2		0	12
P13	Muchos cambios en autoridades locales y regionales	1	3	3	0	1	1	0	0	0	0	2	0		11
DEPENDENCIA		21	11	8	0	1	7	8	2	12	9	12	7	0	56

Ilustración 165: Matriz de Vester encuestas y entrevistas

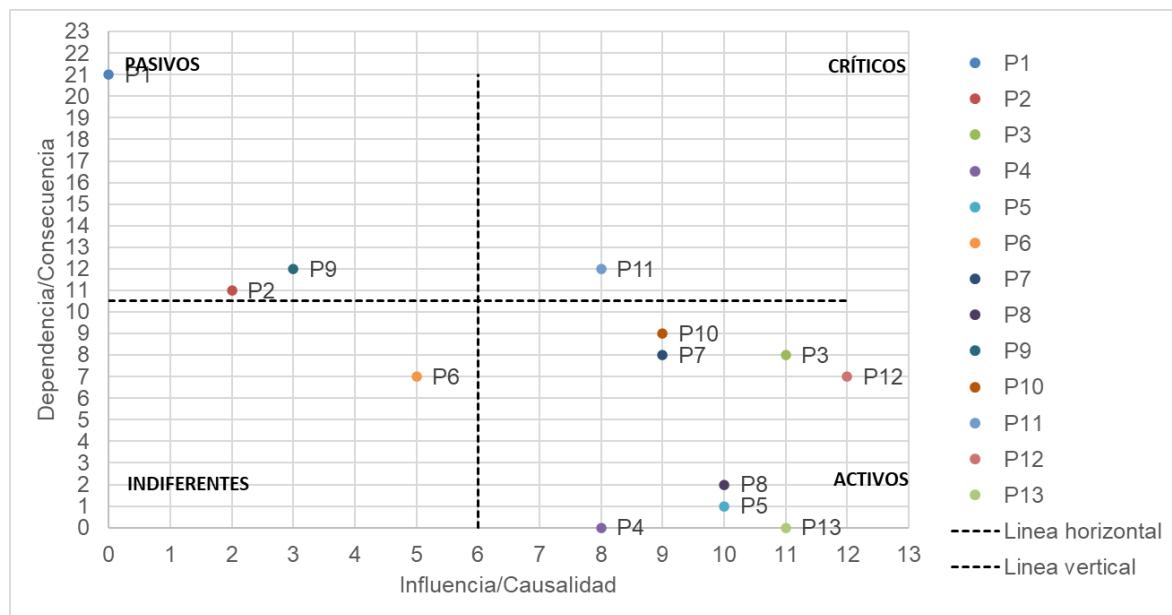
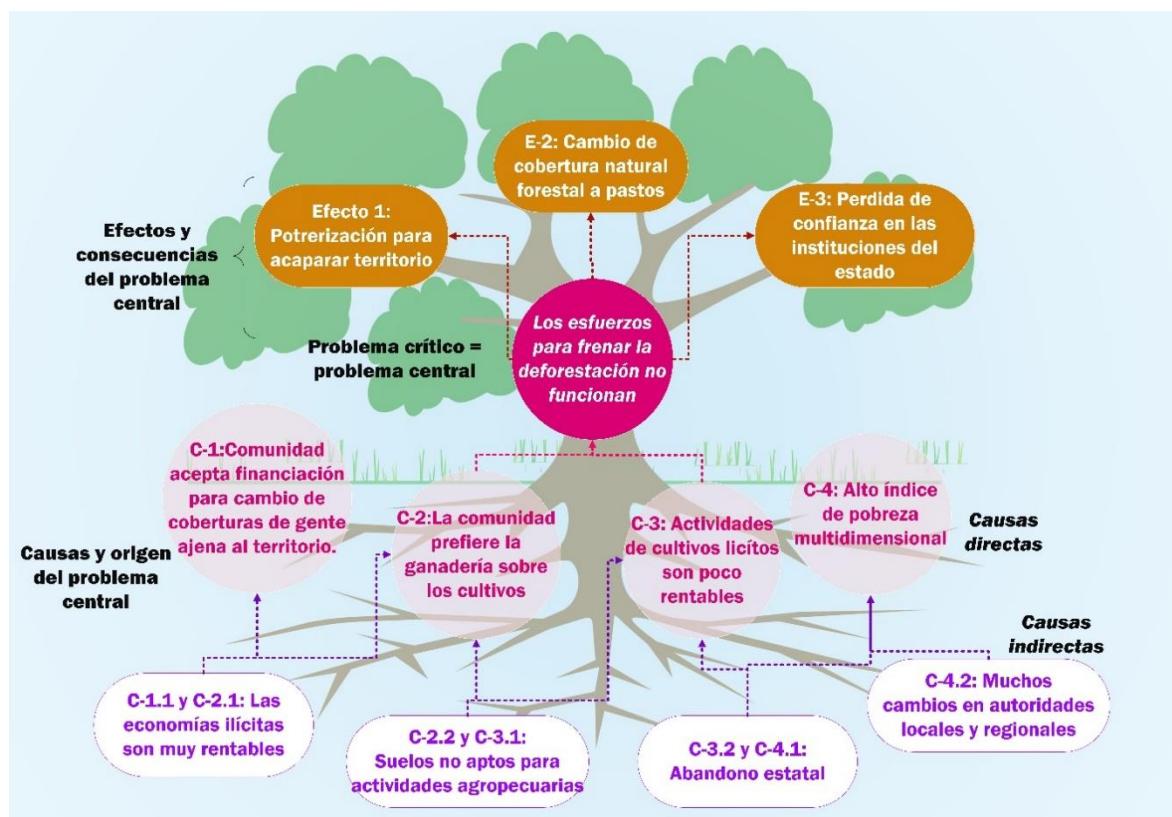


Ilustración 166: Árbol de problemas encuestas y entrevistas



El ejercicio aplicado a la información primaria dio como causa crítica que los esfuerzos para frenar la deforestación no funcionan, dentro de las razones para esto destaca: 1. (p10) que

la comunidad acepta financiación para cambio de coberturas de gente ajena al territorio; 2. (p7) la comunidad prefiere la ganadería sobre los cultivos; 3. (p3) Alto índice de pobreza multidimensional y 4. (p12) Actividades de cultivos lícitos son poco rentables. Esta causalidad se atribuye a la alta rentabilidad de las economías ilícitas, que los suelos no son aptos para actividades agropecuarias, al abandono estatal y que hay muchos cambios en autoridades locales y regionales. Las consecuencias de esta causalidad son la poterización para acaparar territorio, el cambio de cobertura natural forestal a pastos y una pérdida de confianza en las instituciones del estado (Ilustración 165 e Ilustración 166).

Al momento de analizar de forma conjunta los dos árboles, destaca que lo obtenido a partir de información secundaria señala como causas de la problemática la insatisfacción de necesidades básicas; mientras que, en el construido a partir de información primaria, resalta lo referente a la preferencia, al gusto por algo, ya sea que prefieren la ganadería o aceptar dineros de terceros que llevan a la transformación de coberturas. Es importante tener en cuenta que son comunidades que tienen privaciones en infraestructura, pero han desarrollado una serie de adaptaciones culturales que las sustituyen (lazos de comunidad, trabajos satisfactorios -aunque poco remunerados, entornos naturales agradables).



CAPITULO 6. CONCLUSIONES

Atardecer Río Caquetá
Vista de Puerto Guzmán
Autor: Eraso, 2022

CAPITULO 6. CONCLUSIONES

Esta tesis tiene dos grandes aportaciones, por un lado, la elaboración a escala 1:25.000 de los mapas de cubiertas de los años 2010 y 2020. Por el otro, la identificación y el análisis de la causalidad a partir de la voz de los distintos agentes que interactúan en el territorio. A modo de introducción de estas conclusiones se va a responder de forma clara a las preguntas e hipótesis.

6.1 Respuesta a las preguntas de investigación y a las hipótesis

A la pregunta de ¿la deforestación es realmente un problema?, se estableció como hipótesis que la superficie forestal en el área de estudio ha disminuido considerablemente del 2010 a 2020. Se halló que si hay una grave problema de pérdida de bosques, porque fueron eliminados en un 10,55% del área de estudio. Se identificó que la cobertura de bosque denso fue la que más disminuyó entre el 2010 al 2020, porque se pasó de 22.779,31 ha (66,89% del área de estudio) a 19.186,87 ha (56,34%).

A la pregunta de ¿la identificación de los cambios en las coberturas del suelo a partir de técnicas de teledetección permite analizar de forma objetiva el problema de la deforestación?, se concluye que, las técnicas de teledetección son fundamentales para obtener datos cuantitativos y espaciales sobre el cambio de la cobertura del suelo a lo largo del tiempo, lo que ayuda a analizar la deforestación de forma objetiva.

Una segunda hipótesis derivada de esta pregunta es que los niveles de fragmentación se han visto incrementados en el periodo de estudio, se encontró que sí, por el incremento en una (1) celda con índice de fragmentación extrema entre el 2010 y el 2020 y el incremento de ocho (8) celdas en el índice de fragmentación fuerte. La fragmentación ya era fuerte en el 2010 y se ha incrementado para el 2020. Esto quiere decir que, aunado a la disminución de la cobertura forestal por su transformación a otras, el bosque remanente presenta fragmentación.

A la pregunta de ¿el uso de metodología cualitativa permite identificar sus causas?, se plantearon varias hipótesis: 1) la ganadería es una de las causas principales de la deforestación, 2) las actividades ilícitas y el conflicto armado tienen una influencia directa en la deforestación, 3) hay diferencias entre las causas de la deforestación indicadas por los diferentes grupos de población entrevistados y encuestados respecto a lo reportado por

fuentes oficiales y 4) el análisis cualitativo permite identificar las debilidades para el éxito de los programas enfocados a reducir la deforestación.

Respecto a la primera hipótesis de esta pregunta, en esta tesis se concluye que la ganadería en el área de estudio es un importante motor de la deforestación. Esto se plantea debido a que las áreas en pastos limpios tuvieron un incremento en el área de estudio de 6,4% en diez años y por lo reportado por la Gobernación del Putumayo, (2020b), para el municipio de Puerto Guzmán respecto a que se pasó de tener 19.606 cabezas de ganado en el 2005 a 110.830 en el 2020. Aunque el conteo inicial es cinco años antes del periodo establecido para esta investigación, no se puede desconocer un incremento del 565% en la población de bovinos en el municipio, incluyendo el lapso 2010-2020. Por lo tanto, la ganadería es una causa principal de la deforestación.

A la segunda hipótesis de que las actividades ilícitas y el conflicto armado tienen una influencia directa en la deforestación, se determinó que sí, porque financian la presencia de grupos armados que restringen la presencia de las entidades estatales encargadas del cuidado y el buen uso del patrimonio natural, en este caso los bosques. La falta de control también permite la presencia de mafias que controlan las actividades de potrizerización, minería ilegal de oro y cultivos ilícitos, y que a través de los grupos armados obligan a los pobladores a que realicen actividades deforestadoras.

Respecto a la tercera hipótesis, se encontraron importantes diferencias entre las causas de la deforestación indicadas por los diferentes grupos de población entrevistados y encuestados respecto a lo reportado por fuentes oficiales. En lo referente a información secundaria se identificó como el problema crítico o central es la insatisfacción de necesidades básicas, mientras que, en el construido a partir de información primaria, el problema crítico o central es que los esfuerzos para frenar la deforestación no funcionan. La imagen que ofrece el estado colombiano a través de las publicaciones y de las entidades que tienen algún papel en el manejo de la deforestación es que la motivación de las comunidades para realizar las actividades que son motores de la deforestación es la necesidad, derivada de condiciones de incumplimiento de necesidades básicas insatisfechas. Mientras que, a través de las encuestas y las entrevistas, resaltó lo referente a la preferencia, al gusto por algo, ya sea que prefieren la ganadería o aceptar dineros de terceros que llevan a la transformación de coberturas. Es importante tener en cuenta que son comunidades que tienen privaciones en infraestructura, pero han desarrollado una serie de adaptaciones culturales que las sustituyen (lazos de comunidad, trabajos satisfactorios -aunque poco remunerados, entornos naturales agradables, etc.).

La última pregunta de ¿es posible determinar los cuellos de botella de las medidas de control de la deforestación?, con la hipótesis de que el análisis cualitativo permite identificar las debilidades para el éxito de los programas enfocados a reducir la deforestación tuvo resultados positivos. Este acierto se atribuye a que se identificaron causas indirectas no reportadas por las entidades estatales como los muchos cambios en autoridades locales y regionales que no permiten que haya una continuidad en los esfuerzos destinados a reducir la deforestación. Esta interrupción de la gobernanza institucional demora la ejecución de los esfuerzos porque los dineros para financiarlos son en su mayoría donaciones internacionales y en la decisión sobre su uso final participan las mencionadas autoridades. Las gobernaciones, alcaldías y corporaciones autónomas regionales son el puente entre los finanziadores y las comunidades, además que generalmente, administran los recursos y dan la última palabra respecto a las actividades que se harán en los territorios, cualquier cambio en ellos significa que se debe revisar de nuevo para que los funcionarios entrantes se contextualicen y decidan, esto atrasa los procesos.

Una vez respondidas las preguntas de investigación nos centraremos en los aspectos clave de lo identificado como dinámicas y causas que se pueden asociar a la deforestación, pero a partir de la realidad que se vive en el territorio.

6.2 Condiciones físicas, sociales y económicas de la Amazonía Colombiana: el peor enemigo de la naturaleza es la necesidad que emana de la pobreza

Para analizar el cambio de cobertura del suelo, Geist & Lambin (2001), indican que se puede realizar un metaanálisis que proporcione un panorama general a escalas meso y macro de los procesos de cambio en determinados contextos geográficos. En este contexto, Colombia ya cuenta con el panorama general de los procesos de deforestación en la Amazonía y el área de estudio es un frente crítico de la deforestación, por ende, lo recomendable era identificar las variables explicativas del proceso en la zona y por qué las estrategias del gobierno nacional no tienen efecto.

Partiendo de considerar relevante la identificación in-situ de las variables explicativas del área de influencia directa de procesos de la deforestación, Carodenuto et al., 2015, propone un método de evaluación de los “drivers” de la deforestación el cual se resume en la Ilustración 7, y que fue referente metodológico para esta investigación, porque llevaron a cabo un proceso similar al identificado por el autor de esta investigación como apropiado para llevar la investigación a un nivel más detallado, buscando conocer las variables explicativas de estos puntos críticos de cambio de cobertura. El hecho de que Carodenuto

et al., 2015 partiera de la revisión de fuentes secundarias, realizaran cartografía de cubiertas del suelo y análisis de cambios y completaran con un análisis cualitativo, caracterizando la motivación de los drivers y una validación de resultados con un panel de expertos, brindó la seguridad que el método propuesto era el apropiado para cumplir con los objetivos de la investigación.

Al momento de realizar estudios de cambio de coberturas, se parte de la comparación de la representación espacial de dos puntos en el tiempo, y se enfoca en medir los cambios e identificar las variables que las causan. Ya cuando se tiene una cuantificación del cambio, y el objetivo es mermar este cambio, es necesario conocer las causas por las cuales se da. Mucha de la información que “consume el público” es asociado a las causas directas, es decir, las actividades y acciones humanas que impactan directamente en la cubierta forestal, por ejemplo, la expansión agrícola o la tala de árboles para obtener madera.

En este punto la teledetección es útil, para identificar las fuentes de estos tipos de perturbaciones (extracción de madera, tala para la agricultura migratoria u otros procesos de conversión y degradación forestal). No obstante, la identificación de la causa no es posible solo con técnicas de teledetección, porque, aunque estas permiten saber que ha ocurrido un cambio, o qué cubierta hay en la actualidad, para identificar la causas es necesario hablar con la gente, es decir, conocer la motivación que llevó a realizar el cambio e identificar las causas subyacentes, también llamadas indirectas, porque son las que perpetúan las directas en el tiempo. En la revisión bibliográfica se identificó como causas indirectas críticas la falta de gobernanza y de coordinación intersectorial, las actividades ilegales, el crecimiento demográfico, la pobreza y la tenencia insegura (Kissinger et al., 2012; Goetz et al., 2015; Geist & Lambin, 2001). En razón a esto, en este trabajo se realizó una caracterización de los aspectos demográficos y socioeconómicos a partir de estudios de entidades idóneas (IGAC, DANE, IDEAM, Ministerios de Ambiente, Justicia, Comercio de Interior). También se documentó lo referente a actividades ilegales y conflicto armado a partir de informes de ONG, observatorios de derechos humanos y reportajes periodísticos.

Ahora bien, la suma de las características del territorio convierte al área de estudio un caldo de cultivo perfecto para la consolidación de actividades de carácter ilícito. La unión de la pobreza, el abandono estatal, la vasta extensión de territorio y la riqueza de recursos naturales aboca a la extracción incontrolada y al deterioro del ambiente, debido a la realización de actividades incompatibles con la permanencia de las coberturas naturales. Y si a esto se añuye sentimientos de abandono estatal por parte de las comunidades, precariedad en las necesidades básicas como salud y educación y, una visión cortoplacista

derivada de la pobreza, que induce a pensar en sobrevivir, hace que las comunidades no perciban muchas de las actividades que llevan a cabo como adversas para el ambiente, sino medios de subsistir. En razón a lo anterior, se consideró apropiado citar en el título de este apartado a Hans Lamprecht, de su libro “Silvicultura en los Trópicos”, y en los párrafos a continuación se describe el contexto de una realidad, difícil de aceptar y aún más de cambiar, y donde una de las grandes víctimas, aparte de los pobladores es la naturaleza.

El área de interés tiene marcados problemas sociales, empezando por la omisión censal de los municipios, que en la región fue del 12% (frente al 8,5% nacional). Esta situación no es exclusiva del último censo y suele explicarse por la dispersión de la población, las dificultades de acceso a ciertas zonas y el alto riesgo por seguridad. En algunos municipios amazónicos como Puerto Guzmán, la omisión superó el 50%, lo que significa que más de la mitad de su población se estimó bajo criterios estadísticos. Puerto Guzmán es uno de los municipios del Putumayo que más inversión necesita para solventar las necesidades de la población, en especial la infante, adolescente y adultos jóvenes quienes requieren garantías en educación, salud, agua potable y trabajo. La población de Puerto Guzmán está compuesta de forma mayoritaria por colonos arribados de departamentos vecinos y del interior (Nariño, Cauca, Huila y el Eje Cafetero) y, en menor medida, por pueblos indígenas de las etnias nasa e inga. Respecto al IPM-C las cinco variables con mayor incidencia en la medición del IPM de Puerto Guzmán fueron: trabajo informal (93,4%), bajo logro educativo (76,4%), sin acceso a fuente de agua mejorada (53,6%), tasa de dependencia (49,5%) e inadecuada eliminación de excretas (38,6%).

Las actividades de los predios son diversificadas, es decir, siendo fincas relativamente pequeñas (predios de entre 3 ha y 20 ha) no dan para que vivan solamente de la ganadería. Por otro lado, los cultivos agrícolas por la escasa tecnificación se dan a baja escala y si se suma que son poco rentables debido a la lejanía de los grandes centros de consumo y los costos elevados de su extracción (muchas veces deben sacarse a lomo de mula, hasta un sitio en donde puedan ser cargados en un vehículo capaz de sortear las vías terciarias muy precarias o hacer uso del transporte fluvial, muy costoso si se tiene en cuenta que se paga por el peso de lo que transporta en atención que la embarcación debe remontar río arriba, es decir, ir contra la corriente, pero cargada, lo que significa un elevado consumo de combustible).

Respecto al conflicto armado Puerto Guzmán es uno de los municipios amazónicos más afectados, incluso con posterioridad a la desmovilización de la guerrilla de las FARC, debido a que la presencia de grupos disidentes de las FARC en el Putumayo viene

creciendo desde 2018. La actuación estatal frente al conflicto armado en el departamento del Putumayo ha sido (mayoritariamente) la militarización de los territorios con gran presencia de grupos al margen de la ley, y la erradicación forzada de los cultivos por aspersión aérea o erradicación manual. Algunas de estas políticas de Estado han tratado de incluir la inversión social, como implementar pactos de desarrollo alternativos al cultivo de coca los cuales tenían como objetivo financiar proyectos agrícolas de productos como el caucho, el plátano y la ganadería, etc. La mayoría de estos proyectos surgen del financiamiento de la cooperación internacional.

6.3 La desaparición progresiva del bosque amazónico: cuantificación y caracterización del cambio de coberturas

Gracias al avance tecnológico, en la actualidad podemos acceder de forma gratuita a una amplia variedad de datos espaciales, los cuales son de gran utilidad para la toma de decisiones oportunas y planificadas. En este estudio específico, se llevaron a cabo tres fases para generar coberturas del suelo en una región amazónica de Colombia. En la primera fase, se identificaron los datos espaciales disponibles para cada año de estudio, es decir, los satélites que ofrecían observaciones de la Tierra. Para el año 2020, se contaba con imágenes satelitales de diferentes sensores, lo que impulsó la idea de combinar esta información y utilizarla de forma colaborativa para generar las coberturas del suelo.

No obstante, la realización de este proceso en ordenadores de escritorio o portátiles requería una alta capacidad de hardware debido al procesamiento conjunto de grandes volúmenes de datos espaciales. Para abordar este desafío, se tomó la decisión de utilizar GEE, un servicio de teledetección en la nube que proporciona acceso a un extenso catálogo de datos espaciales y permite su procesamiento en la nube. Esto permitió mejorar el tiempo de procesamiento y facilitó la replicación del proceso en diferentes ubicaciones. Una vez identificados los satélites disponibles, se buscaron las imágenes correspondientes que cubrieran el área de estudio y las fechas de interés. Se priorizó el uso de imágenes preprocesadas que ya contaran con correcciones atmosféricas. En algunos casos, las imágenes satelitales solo cubrían parcialmente el área de estudio, por lo que fue necesario realizar un mosaico, es decir, combinar dos o más imágenes para abarcar completamente el área de estudio. Una vez identificadas las imágenes satelitales, se procedió a calcular los índices espectrales de cada sensor con el fin de enriquecer los datos de las coberturas. Posteriormente, se fusionó toda la información de las imágenes satelitales y los índices espectrales en un solo archivo.

Se utilizó el algoritmo Random Forest, ampliamente reconocido por su efectividad en la generación de coberturas. En el proceso de entrenamiento del algoritmo clasificador, se utilizaron datos de tres fuentes diferentes: recorridos por el área de estudio para recopilar las coordenadas de cada tipo de cobertura, datos de coberturas provenientes de información secundaria existente y la fotointerpretación de imágenes de alta resolución tomadas en fechas cercanas al estudio. Es importante destacar que se asignó el 70% de los datos para entrenar el modelo y el 30% restante se utilizó para validar el modelo.

Es preciso mencionar que los recorridos por el área de estudio para recopilar las coordenadas de cada tipo de cobertura no se pudieron realizar por toda el área de estudio debido a la seguridad, porque en la zona hay presencia de grupos armados al margen de la ley que controlan actividades ilegales como son los cultivos de coca o la minería ilegal. Incluso para poder acceder se pidió permiso a estos grupos a través de personas de la comunidad y se explicó que no se recolectaría información de las actividades que ellos realizan. Por este motivo fue difícil hacer recorridos al área de estudio. En la tercera y última fase del trabajo, se validó el resultado mediante matrices de confusión utilizando el 30% de la muestra de coberturas. Esto permitió obtener medidas de evaluación, como la precisión general y el coeficiente de Kappa. Además, se realizaron ajustes y mejoras en las coberturas generadas a través de la fotointerpretación.

Sobre mejorar el método de clasificación supervisada para identificar coberturas, a medida que avanzaba la investigación y se revisaba la bibliografía existente sobre estudios de coberturas del suelo, se identificó que el algoritmo clasificador k-NN también ha mostrado buenos resultados en la generación de coberturas. Sin embargo, este algoritmo no se encontraba disponible en las funciones de GEE. Por tanto, se recurrió al software MiraMon, que cuenta con el algoritmo de clasificación supervisada k-NN. El procedimiento seguido en MiraMon fue similar al realizado en GEE, adaptado y aplicado en el software mencionado. Es importante resaltar que, al completar el proceso de clasificación para el área de estudio utilizando los mismos datos de muestra de entrenamiento y validación, se observó un aumento en la precisión al utilizar el algoritmo k-NN. Además, se destaca que MiraMon proporciona resultados más detallados, lo que facilita su interpretación.

En lo que respecta al cambio de coberturas en el área de estudio para los años 2010 y 2020, se tiene ganancia de pastos (10,75%) y expansión de la agricultura (5,66%) y llama la atención una desintensificación de la agricultura del 8,17%, que son estas áreas, que, en la cartografía del periodo 2010 presentaban algún tipo de cultivo o pastizal, ya sea puro o en mosaico, y que en la cartografía del periodo 2020 haya cambiado a algún tipo de cobertura natural o a algún tipo de mosaico con presencia de espacios naturales. En este

caso, este tipo de situación es un síntoma de los procesos de ocupación del territorio, en donde intervienen baldíos de la nación y hacen potreros para apoderarse de los terrenos, pero no para tener ganado.

6.4 La fragmentación está llegando a puntos de no retorno: la pérdida de la capacidad de ofrecer soporte ambiental

Referente a la fragmentación, se usó el método que analiza la conectividad de áreas potencialmente interesantes para su conservación, especialmente de aquellas que se encuentran muy presionadas por las actividades humanas (urbanización, industria o agricultura) o por la presencia de grandes ejes de comunicación terrestre. En el área de estudio se dio un incremento en la fragmentación. La fragmentación ya era fuerte en el 2010 y se ha recrudecido. La fragmentación se puede asociar a la presencia de vías y teniendo en cuenta que el pico de construcción de este tipo de infraestructura se dio por los años noventa, se puede inferir que la dinámica de cambio de cobertura y fragmentación se dio antes del 2010.

La dinámica identificada en el área de estudio hace referencia a la apertura de grandes espacios (parches con extensiones variables entre pocas a cientos de hectáreas) dentro de un bloque de bosque continuo, cuya apertura obedece a dinámicas propias de la deforestación (tala de árboles, roza y quema de áreas completas de bosque) y tienen como objetivo el cambio de cobertura boscosa a otra, ya sea pastos o cultivos. Estas actividades son ejecutadas sin ningún tipo de planeación por pobladores del área y no cuentan ni con los permisos de las autoridades correspondientes ni con asesoría técnica.

Diferente es este proceso de fragmentación al realizado en coberturas forestales ordenadas, en donde, por medio de estrategias silviculturales, como las barreras cortafuego, las cuales son realizadas de una forma planeada, se genera una interrupción de la continuidad del dosel de copas como medida preventiva para incendios forestales. Es preciso mencionar que la aplicación de medidas de manejo forestal en los bosques amazónicos de Colombia es inexistente, por ende, la realización de acciones preventivas para la “Atención, Prevención y Control de Incendios Forestales” por parte de las autoridades ambientales se limita a un comité (CLOPAD) (CORPOAMAZONIA, 2021), el cual se enfoca más en decirles a los organismos de socorro que deben tener en cuenta para la supresión, y no se tiene en cuenta la planeación o el accionar enfocado para la prevención.

La fragmentación de la Amazonía colombiana se ha evidenciado como un primer paso para la eliminación de la cobertura forestal, porque es un proceso dinámico y generalmente empieza con un acceso, sigue con la apertura de un área al interior de la cobertura forestal, esta área va siendo ampliada y van apareciendo más áreas, por último, estas se conectan y la cobertura forestal queda restringida, en el mejor de los casos, a los bordes de cuerpos de agua.

Este reemplazo progresivo del bosque por pastos se da porque los suelos son inapropiados para actividades agropecuarias, ya que son excesivamente lixiviados, pobres en materia orgánica, ácidos y con altos contenidos de aluminio. En este tipo de suelos, las pasturas se degradan rápidamente y las personas tienden a tumbar los bosques remanentes para sembrar nuevos pastos. Esto afecta la extensión efectiva del hábitat y el desplazamiento de especies como grandes felinos, primates, dantas, etc. los cuales son especies “objeto de conservación”, o sea, especies de la Amazonía colombiana que cuentan con medidas de conservación y manejo (Minambiente, 2017).

6.5 La incompatibilidad de las dinámicas productivas con el bosque húmedo tropical amazónico

Varias de las actividades agropecuarias provienen de prácticas de tierras más frías y la dinámica de tala-roza-quema de los procesos colonizadores, para cambiar el uso del forestal al agropecuario es poco recomendado, debido a que las primeras cosechas tienen buenos rendimientos debido a los nutrientes que proporciona la ceniza de la vegetación quemada, pero una vez, estos son lavados, el suelo queda estéril. En este sustrato relativamente pobre, la productividad de las coberturas naturales se debe a los mecanismos de reciclaje y conservación de nutrientes. La descomposición de residuos orgánicos (hojarasca, ramas, troncos, raíces, otros restos vegetales y animales) es el principal proceso de reciclaje de nutrientes en este tipo de ecosistema. Según Lamprecht (1990), en este tipo de bosque, prácticamente cada 15 meses se descomponen, total o casi totalmente, los residuos vegetales que en algún momento se encontraron en el mantillo del suelo. Esto quiere decir, que al ingresar una nueva cobertura (por ejemplo, pastos, plátano, maíz, yuca, etc.), que se desarrolla a partir del sustrato existente, en este caso el mantillo, aproximadamente al año no tendrá de dónde extraer nutrientes, debido a que el suelo como tal no se lo puede proveer, y no prosperará. Esto ocasiona que los pobladores abran nuevos campos de establecimiento de pasturas o cultivos, a partir de la tala del bosque.

En lo referente a actividad agropecuaria destacan las economías ilegales relacionadas con el narcotráfico, como la siembra, el procesamiento y la comercialización de la hoja de coca, debido a que la zona comprendida por Putumayo-Caquetá es la tercera zona más grande del país con cultivos ilícitos. Este tipo de actividades productivas han sido una de las principales promotoras del fortalecimiento y permanencia del conflicto armado en el departamento, viéndose especialmente afectado por ser parte de la ruta del narcotráfico gracias a su particularidad de zona de frontera y las redes fluviales que permiten el transporte de mercancías, entre otros factores que configuran el fenómeno.

Destacan también las actividades pecuarias, que, para el 2019 reportaron solo para Puerto Guzmán una población de entre 90.000 y 95.000 cabezas de ganado, repartidas en 624 predios y si se compara con lo reportado en el 2005 con una población de 19.606 cabezas de ganado establecidas en 18.500 ha de pasto, se tiene un incremento de casi el 500% en la actividad ganadera en un lapso de catorce años. Sin embargo, en el contexto espacial de la Amazonía (con un promedio de 0,7 cabezas /ha, muy inferior al promedio nacional de 1,2 cabezas/ha), estas cifras permiten inferir que las labores ganaderas, para la mayoría de los finqueros, les generan pocas e incluso ninguna utilidad monetaria (pérdidas) y que en esta zona del país existen otras razones aún más determinantes para impulsar ese particular cambio de cobertura del suelo (bosque nativo hacia pastos).

El IDEAM señala que, para la Amazonía, la expansión y consolidación de grandes zonas de pastos, es propiciada por praderizadores, agentes que generalmente cuentan con poder adquisitivo y no suelen vivir en las zonas que afectan con su actividad, por ende, carece de arraigo con el territorio. Esta dinámica de praderización se ha visto incrementada posterior a la firma de los acuerdos de paz, durante los dos años posteriores al proceso de paz (2017-2018) hubo un aumento significativo, superior al 70%, de la deforestación en las zonas que solían ser controladas por las FARC, particularmente en departamentos como Putumayo, Caquetá y Meta.

Para el área de estudio, la dinámica de conversión de bosques a pasturas se asocia a ganadería extensiva, debido al difícil orden público la demanda de tierras es baja. En la caracterización de las coberturas, la forestal es intervenida de forma pequeña y dispersa, no obstante, se identifican talas grandes y en esos casos, según la entrevista al líder afro, es debido a que hay un patrocinador porque los pobladores no tienen los recursos para hacerlo. Respecto a las tumbas pequeñas y dispersas, son continúas, es decir, van poco a poco, pero de forma constante y con el tiempo se ve el impacto

Un aspecto relevante que se halló durante la elaboración del mapa de coberturas es un sector con grandes extensiones de desmonte y que tienen un patrón poco común, debido

a que pasa de bosque a arena y agua, y son superficies grandes. Eso es minería ilegal, la cual es manejada por los grupos al margen de la ley. Lugares en donde ni la autoridad ambiental, entiéndase CORPOAMAZONIA, ni la policía, ni el ejército puede ingresar.

6.6 Percepción de los actores sobre las causas y las estrategias para disminuir la deforestación: ¿por qué no han funcionado?

Al momento de caracterizar los agentes de la deforestación, se usó encuestas como estrategia de investigación para conocer el estado de opinión sobre las características socioeconómicas del territorio y las entrevistas, para comprender y explicar la dinámica de la deforestación en el área. Ambos instrumentos buscaron indagar sobre los factores que no han permitido que las diferentes propuestas sean efectivas al momento de frenar la deforestación. Un aspecto limitante para caracterizar los agentes que habitan los bosques en la zona de estudio, es la presencia de grupos al margen de la ley. Esto limita la aplicación de técnicas de muestreo al azar, porque solo se logró obtener autorización de ingreso a ciertos sectores.

Un aspecto relevante fue lo concerniente al tamaño de la muestra, puesto que esto no era lo decisivo. La lógica que orienta este tipo de muestreo – y lo que determina su potencia – reside en lograr que los casos elegidos proporcionen la mayor riqueza de información posible para estudiar en profundidad las preguntas de investigación. Para lograrlo el autor se dio a la tarea de entrevistar la mayor cantidad de personas claves de cada uno de los grupos relacionados con la dinámica de la deforestación (pobladores del área de estudio, funcionarios estatales, funcionarios de ONG, líderes comunitarios). La información levantada es vital, por ser colectada de primera mano en un hotspot.

A partir de las entrevistas y las encuestas, en el área de estudio se evidenció una pérdida de confianza, sobre todo, en lo referente al manejo del dinero de cooperación internacional destinados al apoyo de los esfuerzos para disminuir la deforestación. Las comunidades conocen estos recursos y plantean que son de ellos, por ende, esperan que les sean entregados de una forma directa. Esta situación se presenta porque las autoridades territoriales no hacen partícipes a las comunidades en los procesos de formulación de los proyectos que se presentan para conseguir los recursos. Es decir, no se le socializa desde un principio los rubros financiables a los posibles beneficiarios, debido al hecho de que se entregue material vegetal e insumos no es porque los funcionarios así lo hayan deseado, sino que es la forma en la que llega la ayuda a la región, aspecto que está estipulado desde que se participa en la convocatoria.

Reafirmando el sentir de los entrevistados, según la caracterización sociodemográfica de la subregión PDET Putumayo del 2018, muchas de las estrategias de Cooperación Internacional ejecutadas hasta el 2014, no tuvieron éxito debido a que los recursos quedaron en ámbitos burocráticos propios de las ONG y no llegaron las inversiones a las comunidades solicitantes. El Acuerdo de Paz firmado entre el Gobierno Nacional y las FARC (2016) presentó una perspectiva de desarrollo para el departamento a partir de puntos como la Reforma Rural Integral y la inversión social en los municipios de mayor afectación, la formalización de las tierras y su restitución, además, la sustitución voluntaria de cultivos ilícitos y desarrollo alternativo. Pero la falta de implementación del Acuerdo dio paso a una importante incidencia de los cultivos de uso ilícito y la economía del narcotráfico en las condiciones de inseguridad del departamento, la cual se ha incrementado en los últimos años.

Las discrepancias entre los que toman las decisiones y los habitantes son atribuidas a que no hay una comunicación bidireccional, ni hay retroalimentación entre las actividades exitosas y las que no dan resultados, para replicar las primeras y evitar cometer los mismos errores. Esta falta de comunicación conlleva, a que no se concierte entre pobladores y autoridades territoriales las actividades a desarrollar para contrarrestar la pérdida de cobertura forestal.

El nivel de compromiso para combatir la deforestación, tanto de pobladores como de funcionarios estatales, es bajo. Para los pobladores, la generación de recursos inmediatos a partir de la tala de árboles y la quema de bosques para generar pastos para ganado los motiva a seguir con esta actitud depredadora, y aunque reconocen los efectos negativos de la deforestación, y muchos asocian la actividad que realizan como una causa de esta, lo ven como un problema de otros, y no están dispuestos a sacrificar su actividad económica. Para algunos funcionarios, la lucha contra la deforestación significa recargas laborales a las actividades que tienen que realizar, y para otros, significa ponerse en riesgo. Las ONG son las más activas en lo que respecta a combatir la deforestación, pero muchas veces se ven bloqueados por los cambios de alcaldes, gobernadores, quienes, son los conductos regulares para llevar los beneficios a los pobladores.

Llama la atención no encontrar estrategias educativas transversales para contrarrestar la deforestación, tampoco es una tendencia dentro de las líneas de investigación de la educación ambiental. Se evidencia una escasez de acciones desde este ámbito, que tengan como objetivo ayudar a disminuir la presión sobre la cobertura boscosa o su degradación. Las estrategias se concentran en el “establecimiento de planes relacionados con otro tipo de estrategias de intervención integral por parte del Gobierno (proyectos

agroambientales y forestales, acuerdos de conservación, programas de pagos por servicios ambientales, etc.)" (López, 2020, p. 95).

Aunque son pocos los trabajos de investigación que tratan sobre la relación entre la educación y la deforestación, los hallados señalan la necesidad que a través de la educación se informe sobre la delicada problemática ambiental que conlleva el deterioro de los bosques amazónicos y plantean "la importancia de la formación acorde con el contexto de la vida rural, así como la necesidad de una educación interdisciplinar e interinstitucional en conexión directa con el ambiente" (López, 2020, p. 96).

El Estado ha privilegiado el tratamiento punitivo, impulsando acciones militares y judiciales, para enfrentar la deforestación y la minería ilegal. Las respuestas institucionales estatales que buscan resolver la problemática se limitan a las acciones policiales y judiciales, y atacando al pequeño productor. Esto ha generado, inconformidad de las comunidades porque los cultivos ilícitos y la minería han sido fuente de subsistencia para muchas familias por la falta de otras oportunidades económicas. La respuesta de las instituciones estatales locales, como la Alcaldía y la Gobernación, es que van a buscar apoyo de las instituciones del Estado del orden nacional para generar proyectos productivos.

Respecto al establecimiento de pasturas para ganadería extensiva es uno de los motores de la deforestación más significativos porque es de los que más área afecta, pero siendo la ganadería una actividad lícita, y el desmonte de bosques naturales para el establecimiento de pasturas difícil de hacerle seguimiento, no es posible abordar su control desde el accionar políctico. Esto lleva a que la estrategia para su control parte de la sensibilización de los agentes que la financian. El problema para el área de estudio es que los financiadores de esta actividad no son de la región y ni siquiera viven en ella, por lo que no participan en las reuniones de sensibilización ni en las capacitaciones dirigidas a la reconversión ganadera. Esto supone un reto para obtener resultados positivos con las estrategias del gobierno nacional para implantar modelos de ganadería más sostenibles.

Por último, aunque los cultivos ilícitos tienen una alta visibilidad como causa de la deforestación, esta no se asocia a cambios de grandes extensiones de cobertura natural, sino que es más bien un impulsor de la deforestación, debido a que el flujo de caja abundante que generan facilita la presencia de grupos armados al margen de la ley, que realizan un control del territorio, dificultando la presencia, y, por ende, la acción del estado en estas regiones. Y no solo dificulta la presencia de las fuerzas militares, también el acceso a la educación, a la salud, a la asistencia técnica, al saneamiento básico, etc. Esto es debido, al miedo de los funcionarios por la presencia de los grupos al margen de la ley y por la prohibición expresa del ingreso a las áreas.

6.7 Líneas futuras de investigación y recomendaciones

Debido a la complejidad del tema fue preciso acotarlo en razón a los recursos disponibles, que para un estudiante siempre son limitados. Sin embargo, se procuró tomar atenta nota de aquellos aspectos que se identificaron era necesario ahondar, a partir de esto se identificaron los siguientes temas de investigación.

Cada vez es más necesario que los investigadores realicen el modelado de cambio de cobertura utilizando enfoques o técnicas estadísticas para relacionar las diferentes variables explicativas o fuerzas motrices (por ejemplo, topográficas, climáticas, distancias y accesibilidad, o socioeconómicas) recopiladas a lo largo de los estudios. Dentro de las opciones, se han implementado los modelos lineales (GLM) y sus derivados como regresión logística (simple/múltiple) o el análisis discriminante lineal. No obstante, es recomendable incursionar en las técnicas basadas en árboles, que incluyen árboles de decisión y métodos como bagging, Random Forest y boosting, que pueden mejorar el desempeño predictivo de los modelos. Los boosted regresión trees (BRT) se puede utilizar para identificar las variables más importantes y describir las relaciones entre la dinámica de la cobertura y factores clave, como radiación solar, distancia a vías, tolerancia a la sequía, etc. El método permite analizar las transiciones propias de las coberturas y evaluar qué factores han demostrado ser clave en el proceso sucesional.

A futuro es necesario analizar si el área de estudio aún puede cumplir las funciones ecosistémicas de hábitat y regulador hídrico-climático, partiendo de una escala de análisis a nivel de paisaje, cuya extensión estaría determinada en función del área efectiva de hábitat de los objetos de conservación de interés, que para el Amazonas son los grandes felinos y las dantas.

Finalmente, a continuación, se enuncian las recomendaciones:

Es necesario caracterizar las diferencias conceptuales en la forma en que se percibe el ambiente, porque esto puede ayudar a resolver tensiones que contribuyen a conflictos ambientales que ponen en peligro el éxito del esfuerzo de conservación. Además, el estudio de las percepciones ambientales puede mejorar las políticas de conservación al indicar prioridades basadas en la dinámica de intereses socioculturales y políticas locales, destacando sus deseos, preocupaciones y compresión de la problemática. La medición de la percepción de la conservación real es distinta de la medición fruto de información secundaria porque la primera produce datos que son subjetivos, fluidos y están conectados íntimamente al contexto cultural y a la experiencia.

A partir de las encuestas y las entrevistas se obtuvieron propuestas de solución para prevenir y controlar la deforestación, a corto, mediano y largo plazo las cuales se recomienda ser escuchadas. En el corto plazo sugirieron implantar modelos agroforestales y silvopastoriles propios de la región y que se puedan visitar para poder ver su funcionamiento. Realizar capacitaciones, fortalecer las asociaciones, mayor presencia institucional, articulación institucional y con la comunidad, fortalecer el monitoreo de coberturas naturales a nivel local, incentivos por conservación y pagos puntiales. En el mediano plazo, que el apoyo estatal y de ONG se enfoquen en mejorar el estado de las vías de comunicación, construir centros de almacenamiento y transformación de los productos, realizar campañas de comercialización y actualizar la sistematización predial rural. Y en el largo plazo, tener en cuenta el relevo generacional, es decir, capacitar a la siguiente generación en todos los grados sobre la importancia de conservar el bosque y sobre el impacto de las actividades ilícitas.

Se sugiere realizar metodologías que contemplen la clasificación supervisada con el método de combinar imágenes de diferentes sensores y bandas espectrales en lugares en donde se cuente con abundante información de muestras para entrenar y validar la clasificación, debido a que, en este estudio fue limitada la información de muestra. También se sugiere que se experimente más con bandas sintéticas y regresión múltiple lineal en diferentes áreas para mirar si se mejora la clasificación al crear una banda sintética en sensores que no tienen esta banda.

En relación a la metodología para analizar la fragmentación de Steenmans & Pinborg (2000), la cual está adoptada en la Guía técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, se recomienda normalizar la fórmula considerando los valores mínimo y máximo antes de aplicarla, con el fin de obtener resultados más consistentes y precisos para que sus valores resultantes estén escalados dentro de los rangos establecidos.

Respecto a la metodología actual de caracterización de causas y agentes de la deforestación en Colombia, se sugiere ajustar esta metodología debido a la imposibilidad de llevar a cabo las encuestas en zonas rurales con presencia de grupos armados al margen de la ley. Además, se observa una marcada reticencia de las personas a abordar temas delicados como cultivos ilícitos o minería ilegal por temor. La encuesta se percibe como demasiado extensa y los encuestados muestran desagrado ante preguntas específicas sobre recursos económicos. Es importante complementar la encuesta con enfoques cualitativos como las entrevistas para determinar la percepción de los habitantes.

BIBLIOGRAFÍA

- ACAPS. (2022). Colombia: Informe de riesgo: Putumayo (31 de marzo del 2022). Obtenido de Informing humanitarians worldwide 24/7: <https://reliefweb.int/report/colombia/colombia-informe-de-riesgo-putumayo-31-de-marzo-del-2022>
- ACAPS. (2023). Who we are. Obtenido de ACAPS: <https://www.acaps.org/en/>
- Achard, F., Malheiros, Y., & Mollicone, D. (2017). Monitoring forest cover and deforestation. En G. S. (GSARS), Handbook on remote sensing for agricultural statistics (págs. 185-215). Rome: GSARS Handbook.
- Alloatti, M. (2014). Una discusión sobre la técnica de bola de nieve a partir de la experiencia de investigación en migraciones internacionales. IV Encuentro Latinoamericano de Metodología de las Ciencias Sociales. Costa Rica: Universidad Nacional de la Plata.
- An, L., Linderman, M., Qi, J., Shortridge, A., & Liu, J. (2005). Exploring Complexity in a Human-Environment System: An Agent-Based Spatial Model for Multidisciplinary and Multiscale Integration. *Annals of the American Association of Geographers*, 95(1), 54-79. doi:10.1111/j.1467-8306.2005.00450.x
- Andrén, H. (1994). . Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. *Oikos*, 355-366.
- Angulo, R. (2016). From Multidimensional Poverty Measurement to Multisector Public Policy for Poverty Reduction: Lessons from the Colombian Case. New York: Oxford Poverty & Human Development Initiative (OPHI). Obtenido de https://www.ophi.org.uk/wp-content/uploads/OPHIWP102_1.pdf
- ANH e Instituto Humboldt. (2020). Informe de avance de los análisis de conectividad y probabilidad de deforestación. Convenio interadministrativo No. 20-115 de 2020 (499 de 2020 ANH). Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH y el Instituto de Investigación Alexander von Humboldt.
- Aplin, P. (2004). Remote sensing: land cover. *Progress in Physical Geography*, 28(2), 283-293. doi:10.1191/0309133304pp413pr
- Arcila, O. (2010). La Amazonía colombiana urbanizada: un análisis de sus asentamientos humanos. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, Sinchi.

- Ariza-López, F., Rodríguez-Avi, & Alba-Fernández, M. (2018). Complete control of an observed confusion matrix. IGARSS, 1222-1225. Obtenido de <https://scihub.se/10.1109/igarss.2018.8517540>
- Armenteras, D., González, T., Meza, M., Ramírez-Delgado, J., Cabrera, E., Galindo, G., & Yepes, A. (2018). Causas de Degradación Forestal en Colombia: una primera aproximación. Bogotá D.C., Colombia., 105 págs.: Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia-IDEAM, Programa ONU-REDD.
- Armenteras, D., González, T., Vargas, O., Meza-Elizalde, M., & Oliveras , I. (2020). Incendios en ecosistemas del norte de Suramérica: avances en la ecología del fuego tropical en Colombia, Ecuador y Perú. Caldasia, 42(1), 1-16. doi:<https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v42n1.77353>.
- Armenteras, D., Rodríguez, N., & Retana, J. (2013). Landscape Dynamics in Northwestern Amazonia: An Assessment of Pastures, Fire and Illicit Crops as Drivers of Tropical Deforestation. PLoS ONE, 8(1). doi:[10.1371/journal.pone.0054310](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054310)
- Badia, A. (2000). La incidència dels incendis a l'Àrea Metropolitana de Barcelona i a la comarca del Bages durant el període 1987-1998. Tesi doctoral. Bellaterra: Departament de Geografia Universitat Autònoma de Barcelona.
- Badia, A., & Gisbert, M. (2021). La continuidad forestal como desafío a los incendios en las comarcas de montaña de Cataluña (1993-2018). Geografía, Cambio Global y Sostenibilidad. XXVII Congreso de Geografía.
- Badia, A., & Valldeperas, N. (2015). El valor histórico y estético del paisaje: claves para entender la vulnerabilidad de la interfaz urbano-forestal frente a los incendios. Scripta Nova, XIX(521).
- Badia, A., Pallares-Barbera, M., Valldeperas, N., & Gisbert, M. (2019). Wildfires in the wildland-urban interface in Catalonia: Vulnerability analysis based on land use and land cover change. Science of the Total Environment, 673, 184-196. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.012>
- Baeza, R., & Vázquez, J. (2014). Transición de un modelo de regresión lineal múltiple predictivo, a un modelo de regresión no lineal simple explicativo con mejor nivel de predicción: Un enfoque de dinámica de sistemas. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia, 71, 59-71. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ifiua/n71/n71a07.pdf>

- Baltar, F., & Gorjup, M. (2012). Muestreo mixto online: Una aplicación en poblaciones ocultas. *Intangible Capital*, 123-149. doi:<http://dx.doi.org/10.3926/ic.294>
- Bandyopadhyay, S., Maulik, U., & Mukhopadhyay, A. (2007). Multiobjective Genetic Clustering for Pixel Classification in Remote Sensing Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing*, 45(5), 1506-1511. doi:[10.1109/TGRS.2007.892604](https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.892604)
- Bennet, A. (1998). *Linkages in the Landscape: The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation*. Gland, Suiza y Cambridge,: IUCN.
- Betancourt, D. (2016). Obtenido de Matriz de vester para la priorización de problemas: www.ingenioempresa.com/matriz-de-vester.
- Betancourt, P., & Martínez, J. (2017). Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en la cuenca del Rio Pauto, departamento del Casanare. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Topográfico . Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas .
- Blanco, H. (2012). Análisis de datos cualitativos y atlas.ti: una experiencia de formación. *Revista Universitaria: Docencia, Investigación e Innovación*, 1(1), 103-114. Obtenido de http://funes.uniandes.edu.co/9461/1/AN%C3%81LISIS_DE_DATOS_CUALITATIVOS_Y_ATLAS-TI_UNA_EXPERIENCIA.pdf
- Bocco, G., Priego, Á., & Cotler, H. (2005). La geografía física y el ordenamiento ecológico del territorio. *Gaceta Ecológica*,(76), 23-34. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/539/53907604.pdf>
- Boer, M., Resco , V., & Bradstock, R. (2020). Unprecedented burn area of Australian mega forest fires. *Nature Climate Change*, 10, 171-172. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0716-1>
- Borra, I., Peña, J., Torres, J., & López, F. (2015). Evaluación de la técnica de resampling en imágenes UAV para la detección de malas hierbas mediante análisis OBIA. (págs. 209-2016). Sevilla: Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10261/159646>
- Cabezas, M. (2020). Análisis de Fragmentación y Conectividad Estructural del Paisaje en la Cuenca Hidrográfica del Río Calenturitas, Departamento del Cesar-Colombia.

Trabajo de Grado para Obtener el Título de Especialista en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Bogotá: Universidad Santo Tomás. Recuperado el 12 de febrero de 2023, de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/31099/2020mercyscabezas.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Cabrera, E., Galindo, G., & Vargas D. (2011). Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia, Nivel Nacional Escala Gruesa y Fina. Bogotá. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13817/Protocolo_para_la_cuantificación_Deforestación_Nivel_Nacional.pdf

Campos, M., Moreno, Á., García , F., Camps, G., Robinson, N., Kattge, J., & Running, S. (2018). Global Estimation of Biophysical Variables from Google Earth Engine Platform. *Remote Sens*, 10(8), 1167. doi:<https://doi.org/10.3390/rs10081167>

Cancimance, A. (2012). Memorias en silencio: la masacre de El Tigre, Putumayo. Reconstrucción de memoria histórica en Colombia. España: Editorial Académica Española.

Cancimance, A. (2017). Echar raíces en medio del conflicto armado: resistencias cotidianas de colonos en Putumayo. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Cánoyas, F. (2012). Análisis de imágenes basado en objetos (OBIA) y aprendizaje automático para la obtención de mapas de coberturas del suelo a partir de imágenes de muy alta resolución espacial. Aplicación en la Unidad de Demanda Agraria n.º 28, Cabecera del Argos. *Revista de Teledetección*, 38, 89-90.

Cardil, A., de-Miguel, S., Silva, C., Reich, P., Calkin, D., Brancalion, P., . . . Crowther, R. (2020). Recent deforestation drove the spike in Amazonian fires. *Environmental Research Letters*, 15(12). doi:[10.1088/1748-9326/abca7](https://doi.org/10.1088/1748-9326/abca7)

Carodenuto, S., Merger, E., Essomba, E., Panev, M., Pistorius, T., & Amougou, J. (2015). A Methodological Framework for Assessing Agents, Proximate Drivers and Underlying Causes of Deforestation: Field Test Results from Southern Cameroon. *Forests*, 6, 203-224. doi:[doi:10.3390/f6010203](https://doi.org/10.3390/f6010203)

Carvajal, M. (31 de mar de 2023). El inesperado vínculo entre el Acuerdo de Paz y la deforestación. El Universal. Obtenido de

<https://www.eluniversal.com.co/ambiente/el-inesperado-vinculo-entre-el-acuerdo-de-paz-y-la-deforestacion-AI8039604>

CEIR. (2023). Municipio de Puerto Guzmán (Putumayo): diagnóstico socioeconómico y de producción agropecuaria (2010-2019). Bogotá: Universidad de la Salle. Centro de Estudios e Investigaciones Rurales -CEIR. Obtenido de <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=ceir-putumayo>

Centro Nacional de Memoria Histórica (CNMH). (2012). El Placer. Mujeres, coca y guerra en el bajo Putumayo. Bogotá: Taurus.

Chacón, E. (2004). El uso del ATLAS/TI como herramienta para el análisis de datos cualitativos en Investigaciones Educativas. Competencias socio-profesionales de las titulaciones en educación. Madrid: UNED.

Chuquillanqui , E. (2022). Clasificaciones de imágenes en el lenguaje R. Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Informática. Universidad Complutense de Madrid. Obtenido de <https://github.com/elianaaliz/SatelliteImageClassification-TFG>

Chuvieco, E. (1985). Aportaciones de la Teledetección espacial a la cartografía de ocupación del suelo. Anales de Geografía de la Universidad Complutense (págs. 29-48). Ed. Univ. Complutense. Obtenido de <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/download/AGUC8585110029A/32094>

CNMH. (2014). Guerrilla y población civil. Trayectoria de las FARC 1949-2013. Bogotá: Centro Nacional de Memoria Histórica. Obtenido de <https://www.centrodememoriahistorica.gov.co/descargas/informes2013/farc/guerrilla-poblacion-civil.pdf>

Comber, A., Fisher, P., Brunsdon, C., & Khmag, A. (2012). Spatial analysis of remote sensing image classification accuracy. 127, 237-246. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.005>

Conexión Putumayo. (2022). Otras 3 personas fueron asesinadas en zona rural de Puerto Leguízamo, Putumayo. Obtenido de Conexión Putumayo: <https://conexionputumayo.com/otras-3-personas-fueron-asesinadas-en-zona-rural-de-puerto-leguizamo-putumayo/>

Conpes. (2018). Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia. Bogotá: Consejo nacional de política económica y social.

CONPES. (2020). Política nacional para el control de la deforestación y la gestión sostenible de los bosques. Obtenido de Departamento Nacional de Planeación: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4021.pdf>

Cook, T., & Reichardt, C. (1986). Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa. Madrid: Ediciones Morata. Obtenido el 06 de abr de 2019 en http://cvonline.uaeh.edu.mx/Cursos/Maestria/MTE/seminario_de_inv/UNIDAD%201/Archivos%20anteriores/lec2_una%20superacion_del_enfren_entre_met_cualit_y_cuant.pdf.

Copernicus Open Access Hub. (2022). Copernicus Open Access Hub. Obtenido de <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Coral, L. (2018). Transformaciones ecosistémicas en la llanura amazónica colombiana derivadas del modelo agrícola local. Caso Puerto Asís (Putumayo). Trabajo de grado - Maestría. Bogotá: Instituto de Estudios Ambientales (IDEA). <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/68801>.

CORPOAMAZONIA. (2015). Continúan medidas para enfrentar fenómeno el niño en el sur de la amazonia. Obtenido de <https://www.corpoamazonia.gov.co/index.php/noticias/623-fenomeno-nino-octubre>

CORPOAMAZONIA. (2018). Plan de gestión ambiental de la región del sur de la Amazonia colombiana 2017-2037. Mocoa, Putumayo. Obtenido de https://www.corpoamazonia.gov.co/files/PGAR_20180612.pdf

CORPOAMAZONIA. (2020). Obtenido de https://www.corpoamazonia.gov.co/region/putumayo/municipios/Ptyo_Guzman

CORPOAMAZONIA. (2021). Fortalece la gestión frente a los incendios forestales. Obtenido de <http://www.corpoamazonia.gov.co/index.php/noticias/299-fortalece-la-gestion-frente-a-los-incendios-forestales>

CORPOCAMPO. (2021). Cartilla para el aprovechamiento sostenible del fruto de la palma de Asai (Euterpe recatoría) en la Amazonía colombiana. Puerto Asís, Putumayo.

Corredor, E., Paéz, E., & Fonseca, J. (2019). Desarrollo y extensión rural. Estrategias para el fortalecimiento de la agricultura familiar campesina. Bogotá: Sello Editorial UNAD.

Grupo de investigación GIGASS. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA. Obtenido de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/view/3718/3739>

Corredor, S. (2019). Revisión y comparación del índice de fragmentación de coberturas naturales para cuatro cuencas hidrográficas en estudio. Proyecto de grado en modalidad investigación-innovación para optar al título de Ingeniero Ambiental. Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/22764>

CREAF. (2022). Què és el Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya? Obtenido de MCSC: <https://www.mcsc.creaf.cat/descriptiu.htm>

Crespi, M., Nascetti, A., & Ravanelli, R. (2020). Special Issue Information "Google Earth Engine and Cloud Computing Platforms: Methods and Applications in Big Geo Data Science". *Remote Sensing*. Recuperado el 22 de oct de 2020, de https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/GEE_Methods_Applications

Crouch, M., & McKenzie, H. (2006). The logic of small samples in interview-based qualitative research. *Social Science Information*, 45(4), 483-449.

Cruz, B., Téllez, J., & Carrillo, F. (2020). Análisis de cambios en las coberturas y usos de suelo de la cuenca del río Cuale, Jalisco, México. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 67(1), 33-50. doi:<https://doi.org/10.5565/rev/dag.554>

Curtis, P., Slay, C., Harris, N., Tyukavina, A., & Hansen, M. (2018). Classifying drivers of global forest loss. *Science*, 361, 1108-1111. doi:[doi:10.1126/science.aau3445](https://doi.org/10.1126/science.aau3445)

DANE. (2017). Microdatos. Encuesta Multipropósito para Bogotá Distrito Capital - EMB - 2011. Obtenido de <https://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/189>

DANE. (2018). Censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018. Obtenido de Estadísticas-por-tema/demografia-y-poblacion: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>

DANE. (2021). Catálogo central de datos / dem-microdatos / DANE-DCD-CNPV-2018. Obtenido de DANE: https://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/643/get_microdata

DANE. (2022). Pobreza multidimensional Resultados 2021. Bogotá: DANE. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/pobreza/2021/presentacion-rueda-de-prensa-pobreza-multidimensional-21.pdf

DANE. (2023). Visor interactivo de nacimientos y defunciones. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/nacimientos-y-defunciones>

Dávalos, L., Holmes, J., Rodríguez, N., & Armenteras, D. (2014). Demand for beef is unrelated to pasture expansion in northwestern Amazonia. *Biological Conservacion*, 170, 64-73.

De Luque, M., Pérez, J., Rodríguez, Y., & Jiménez-Rodríguez, C. (2019). Análisis del proceso de fragmentación de bosques: metodologías orientadas en el uso de sistemas de información geográfica y métricas del paisaje. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 5(1), 32-42. doi:10.36436/24223484.193

Defensoría del Pueblo. (2022). Alerta Temprana N° 002-2022 . Obtenido de Defensoría del Pueblo: <https://alertasstg.blob.core.windows.net/alertas/002-22.pdf>

Defensoría del Pueblo. (2022). Defensoría del Pueblo lamenta la muerte de 18 personas en enfrentamientos entre grupos armados ilegales en zona rural de Puerto Guzmán (Putumayo). Obtenido de Defensoría del Pueblo: [https://www.defensoria.gov.co/-/defensor%C3%ADa-del-pueblo-lamenta-la-muerte-de-18-personas-en-enfrentamientos-entre-grupos-armados-ilegales-en-zona-rural-de-puerto-guzm%C3%A1n-putumayo-#:~:text=Puerto%20Guzm%C3%A1n%20\(Putumayo\)-,Defensor%C3%ADa%20del%20P](https://www.defensoria.gov.co/-/defensor%C3%ADa-del-pueblo-lamenta-la-muerte-de-18-personas-en-enfrentamientos-entre-grupos-armados-ilegales-en-zona-rural-de-puerto-guzm%C3%A1n-putumayo-#:~:text=Puerto%20Guzm%C3%A1n%20(Putumayo)-,Defensor%C3%ADa%20del%20P)

Delgado, M. (2019). Uso potencial y efectivo de la tierra agrícola en colombia: resultados del censo nacional agropecuario. Bogotá: Fedesarrollo.

Durand, L., & Lazos, E. (2008). The local perception of tropical deforestation and its relation to conservation policies in Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Mexico. *Human Ecology*, 36(3), 383-394.

Echeverría, s., Newbold, T., Hudson, L., Contu, S., Hill, S., & Lysenki, I. (2016). Modelling and projecting the response of local assemblage composition to Modelling and projecting the response of local assemblage composition to. *Diversity and Distributions*, 22(11), 1099-1111. doi:<https://doi.org/10.1111/ddi.12478>

- Eraso, O. (2022). Sobrevuelo Puerto Guzmán. Sobrevuelo Puerto Guzmán.
- Eraso, O., Badia, A., & Gisbert, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo. *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89-113. doi:<https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>
- Eraso, O., Badia, A., & Gisbert, M. (2023). Identificación de las causas del proceso de deforestación en el municipio de Puerto Guzmán, departamento del Putumayo – Colombia (Amazonía) a partir de entrevistas semiestructuradas. En I. Gusman, Y. Pérez, D. Cidrás, J. Vila, & R. Lois, *América Latina ante los (nuevos) retos de la justicia social y ambiental* (págs. 29-44). Madrid: Asociación Española de Geografía. Obtenido de <https://www.age-geografia.es/site/publicaciones/al/2023/2.pdf>
- Erasso, C., & Vélez, M. (2020). ¿Los cultivos de coca causan deforestación en Colombia? (Cesed, Ed.) Obtenido de <https://cesed.uniandes.edu.co/wp-content/uploads/2020/05/%C2%BFLOS-CULTIVOS-DE-COCA-CAUSAN-DEFORESTACION.pdf>
- ESA. (2023). Resolution and Swath: Spatial and Spectral Resolutions. Obtenido de European Space Agency: Sentinel Online: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload/resolution-and-swath>
- Escobar, C., & Guarín, A. (2018). Análisis de los procesos de desertificación a partir del cambio multitemporal en la cobertura y uso del suelo en la cuenca media del Río Chicamocha, Colombia. Bogotá: Ingeniería Geográfica y Ambiental UDCA. Obtenido de <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/965>
- Escobar, J., Mora, C., & Quinteros, D. (2021). Modelos cognitivos para determinar la precisión sobre los centros poblados intervenidos con proyectos sociales en el año 2021. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- European Union/ESA/Copernicus. (2023). Sentinel-1 SAR GRD: C-band Synthetic Aperture Radar Ground Range Detected, log scaling. Obtenido de Earth engine data catalog: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S1_GRD#description

- Fajardo, D. (2015). Estudio sobre los orígenes del conflicto social armado, razones de su persistencia y sus efectos más profundos en la sociedad colombiana. Obtenido de Comisión Histórica del conflicto y sus víctimas.
- FAO. (1996). Situación de los bosques del mundo. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Obtenido de <https://www.fao.org/3/y0900s/y0900s00.pdf>
- FAO. (2015). Global Forest Resources Assessment 2015: How are forests changing? Roma: FAO Publication.
- FAO. (2020). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 – Principales resultados. Roma. doi:<https://doi.org/10.4060/ca8753es>
- FAO. PARTE I -La nueva generación de proyectos forestales y su función en el desarrollo sostenible. 2021. {En línea}. <https://www.fao.org/3/t1081s/t1081s03.htm>. (s.f.).
- Fernández, E., & Cifuentes, A. (2022). El combate contra la deforestación: un esfuerzo insuficiente. Obtenido de El Tiempo.com: <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/la-deforestacion-en-colombia-una-problematica-vigente-726701>
- Flores, A., Flores, J., González, D., Gallegos, A., Zarazúa, P., & Mena, s. (2021). Análisis comparativo de índices espectrales para ubicar y dimensionar niveles de severidad de incendios forestales. Investigaciones Geográficas(106). doi:doi: 10.14350/rig.60396
- Franco, A., & De los Ríos, I. (2011). Reforma agraria en Colombia: evolución histórica del concepto. Hacia un enfoque integral actual. Cuadernos de Desarrollo Rural, 8(67), 93-119. Recuperado el 18 de oct de 2018 de <http://www.scielo.org.co/pdf/cudr/v8n67/v8n67a05.pdf>.
- Franco, O. (2011). Colombia, país libre de fiebre aftosa con vacunación. Monografía desarrollada como opción de grado para la Especialización en Sanidad Animal. Bogotá: Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas – UDCA. Obtenido de <https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/188/203561.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Franklin, S., Ahmed, O., Wulder, M., White, J., Hermosilla, T., & Coop, N. (2015). Large Area Mapping of Annual Land Cover Dynamics Using Multitemporal Change

Detection and Classification of Landsat Time Series Data. Canadian Journal of Remote Sensing, 41(4), 293-314. doi:10.1080/07038992.2015.1089401

freepng.es. (2020). Mapa Imágen de Png. SIG fundamentos de sistemas de Información Geográfica Geografía Mapa - . Obtenido de <https://www.freepng.es/png-gnpjfy/>

Galindo, G., & Cabrera, E. (2021). ¿Cómo monitoreamos los bosques del país? Quinto seminario anual de monitoreo de la cobertura forestal en Colombia (23 de junio del 2021). Bogotá: IDEAM. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=4B9AoFR6woE>.

Galindo, G., Espejo, O., Ramírez, J., Forero, C., Valbuena, C., Rubiano, J., . . . Cabrera, E. (2014). Memoria técnica de la Cuantificación de la superficie de bosque natural y deforestación a nivel nacional. Actualización periodo 2012-2013. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

Gama, L., Plazola , V., Murgua, C., Martinez, C., & Lopez, E. (2022). Prototipo de Cámara Infrarroja para obtener el Índice NDVI en Agricultura de Precisión. Programación Matemática y Software, 14(1), 9-21.

Geilfus, F. (1994). El árbol al servicio del agricultor. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza -CATIE.

Geist, H., & Lambin, E. (2001). What Drives Tropical Deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. Obtenido de http://www.pik-potsdam.de/members/cramer/teaching/0607/Geist_2001_LUCC_Report.pdf

Geymen, A., & Baz, I. (2007). The potential of remote sensing for monitoring land cover changes and effects on physical geography in the area of Kayisdagi Mountain and its surroundings (Istanbul). Environmental Monitoring and Assessment, 140(1-3), 33-42. doi:DOI 10.1007/s10661-007-9844-6

Gobernación del Putumayo. (2020b). Informe de Gestión Vigencia 2019. Mocoa. Obtenido de <https://www.putumayo.gov.co/images/documentos/rendiciones-de-cuentas/Informe%20de%20Gestion%202016-2019.pdf>

Gobernación del Putumayo. (2020b). Plan Departamental de Extensión Agropecuaria Departamento De Putumayo. Mocoa: Gobernación de Putumayo e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. Obtenido de

<https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/PublishingImages/Paginas/PDEA/Putumayo.pdf>

Goetz, J., & LeCompte, M. (1984). Etnografía y diseño cualitativo en investigación educativa. Madrid: Ediciones Morata, S.A. Obtenido el 23 de mar de 2019 en <https://upeldem.files.wordpress.com/2018/03/libro-etnografic3ada-y-disec3b1o-cualitativo-en-investigacionc3b3n-educatica-j-p-goetz-y-m-d-lecompte.pdf>.

Goetz, S., Hansen, M., Houghton, R., Walker, W., Laporte, N., & Busch, J. (2015). Measurement and monitoring needs, capabilities and potential for addressing reduced emissions from deforestation and forest degradation under REDD+. Environmental research letters, 10. doi:10.1088/1748-9326/10/12/123001

Gomes, V., Queiroz, G., & Ferreira, K. (2020). An Overview of Platforms for Big Earth Observation Data Management and Analysis. Remote Sensing, 12(1253). doi:doi:10.3390/rs12081253

Goméz, R., & Otavo, E. (2007). Economía y usos de la biodiversidad: Productos forestales no maderables. En I. S. Corpoamazonía, Diversidad Biológica y Cultural en el sur de la Amazonia Colombiana. Corpoamazonía, IAvH, SINCHI, UAESPNN.

González, J., Cubillos, A., Chadid, M., Arias, M., Zuñiga, E., Cubillos, M., & Joubert, F. (2018a). Lineamientos conceptuales y metodológicos para la caracterización de causas y agentes de la deforestación en Colombia. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM-. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Programa ONU-REDD. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023783/Lineamientos.pdf>

González, J., Cubillos, A., Chadid, M., Cubillos, A., Arias, M., Zúñiga, E., . . . Berrío, V. (2018b). Caracterización de las principales causas y agentes de la deforestación a nivel nacional período 2005-2015. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM-. Ministerio de Ambiente y Desarrollo ostenible. Programa ONU-REDD.

González, J., Etter, A., Sarmiento, A., Orrego, S., Ramírez, C., Cabrera, E., . . . Ordoñez, M. (2011). Análisis de tendencias y patrones espaciales de deforestación en Colombia. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Obtenido en chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%

Fwww.ideam.gov.co%2Fdocuments%2F11769%2F44688974%2FAnalisis%2Bde%2Btendencias%2By%2Bpatrones.

González, L. (2016). Aprendizajes en el Aula de Inmersión. Trabajo de grado para optar al título de magister en Pedagogía. Universidad de la Sabana. Obtenido el 26 de marzo de 2019 en <https://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/25807/Laura%20Viviana%20Gonzalez%20Ramirez%20%28tesis%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

González, L. (2016). Aprendizajes En El Aula De Inmersión. Trabajo de grado para optar a la Maestría En Pedagogía. Universidad De La Sabana. Obtenido de <https://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/25807/Laura%20Viviana%20Gonzalez%20Ramirez%20%28tesis%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

González, N., & Rodríguez, Y. (2022). Priorizar problemas en el aprendizaje de las matemáticas usando la matriz de vester. Revista boletín REDIPE, 11(2), 447-460.

González-Guerrero, O., & Pons, X. (2020). The 2017 Land Use/Land Cover Map of Catalonia based on Sentinel-2 images and auxiliary data. Revista de Teledetección. Asociación Española de Teledetección, 55, 81-92. doi:<https://doi.org/10.4995/raet.2020.13112>

González-Guerrero, O., Pons-Fernández, X., Bassols-Morey, R., & Camps-Fernández, F. (2019). DINÀMICA DE LES SUPERFÍCIES DE CONREU A CATALUNYA MITJANÇANT TELEDETECCIÓ EN EL PERÍODE 1987-2012. Institució Catalana d'Estudis Agraris, 55, 59-91. doi:<https://doi.org/10.4995/raet.2020.13112>

Google. (2023). Pinpoint. Obtenido de Journalist Studio: <https://journaliststudio.google.com/pinpoint/getting-started>

Google Earth Engine. (2022). Google for Developers. Obtenido de <https://developers.google.com/earth-engine/apidocs/ee-image-cat>

Gozzer, S. (22 de ago de 2019). Incendios en el Amazonas: cómo la selva amazónica se volvió más inflamable pese a ser uno de los lugares más húmedos del mundo. BBC News Mundo. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-49436407>

Griffiths, P., Nendel, C., & Hostert, P. (2019). Intra-annual reflectance composites from Sentinel-2 and Landsat for national-scale crop and land cover mapping. Remote

Sensing of Environment, 220, 135-151.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.031>

Guarnizo, T., Moreno, C., & Barrera, G. (2020). Análisis técnico de sostenibilidad y producción ganadera en la Amazonia colombiana - caso Guaviare, Caquetá y Putumayo. Bogotá: Instituto SINCHI. Obtenido de <https://www.sinchi.org.co/files/PUBLICACIONES%20DIGITALES/Documentos%20de%20debate/09.pdf>

Güiza, L. (2021). Herramientas para la acción judicial en casos de deforestación. Bogotá: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo, USAID; Consejo Superior de la Judicatura; Editorial Universidad del Rosario.

Gutierrez, J. (2023). Estimación del índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI) de diversos cultivos. Tesis como requisito parcial para obtener el título de ingeniero en agronomía. Jalisco, México: Instituto Tecnológico de Tlajomulco. Obtenido de <https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/5721/1/JORGE%20GUTIERREZ%20DON.pdf>

Hao, B., Ma, M., Li, S., Li, Q., Hao, D., Huang, J., . . . Han, X. (2019). Land Use Change and Climate Variation in the Three Gorges Reservoir Catchment from 2000 to 2015 Based on the Google Earth Engine. Sensors, 19(9), 2118. doi:<https://doi.org/10.3390/s19092118>

Hassan, Z., Shabbir, R., Saeed, S., Haider, A., Aziz, N., Butt, A., & Erum, S. (2016). Dynamics of land use and land cover change (LULCC) using geospatial techniques: a case study of Islamabad PakistanZahra. SpringerPlus(812). doi:10.1186/s40064-016-2414-z

Hechavarría, S. (2012). Diferencias entre cuestionario y encuesta. Obtenido de Universidad Virtual de la Salud: <http://uvsfajardo.sld.cu/diferencia-entre-cuestionario-y-encuesta>

Hernández Sampieri, R. (2001). Metodología de la Investigación para Administración y Economía. México: Mc Graw-Hill.

Hernández, C., & Mura, I. (2018). Posicionamiento de barreras corta fuegos usando Bacterial Foraging Optimization Algorithm. Reseña trabajo de grado Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Industrial, Bogotá, Colombia. Obtenido de

[https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/40096/u807796.pdf?seq
uence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/40096/u807796.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Hosonuma, N., Herld, M., de Sy, V., de Fries, R., Brockhaus, M., Verchot, L., . . . Romijn, E. (2012). An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries. *Environ. Res. Lett.*, 7. doi: doi:10.1088/1748-9326/7/4/044009
- ICA. (2020). Obtenido de Cobertura de vacunación de fiebre aftosa ciclo 2 de 2020: <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/enfermedades-animales/fiebre-aftosa/cuadro2-cobertura-de-vacunacion-de-fiebre-afto-6.aspx>
- ICA. (2021). Censo pecuario nacional-año 2020. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Obtenido de <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx>
- IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (2012). Temperatura Media Anual y Pisos Termicos 1971-2000. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://www.ideam.gov.co/documents/10182/98893649/Temperatura+Media+Anual+y+Pisos+Termicos+1971+-+2000.+A%C3%B1o+2012.pdf/c07d43df-e159-4c03-ad78-c35462ed3844?version=1.0>
- IDEAM. (2013). Análisis de dinámicas de cambio de las cobertura de la tierra en Colombia. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023677/Analisisdinamicas.pdf>
- IDEAM. (2013). Zonificación Hidrográfica de Colombia 2013. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://www.ideam.gov.co/documents/10182/512634/Zonificacion+Hidrografica+de+Colombia+2013.pdf/69a2ba97-b137-4f83-a661-10404165a8cc?version=1.0>
- IDEAM. (2014). Precipitación anual. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Precipitacion_Anual.pdf

IDEAM. (2017). Mapa ecosistemas continentales, costeros y marinos. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/mapa-ecosistemas-continentales-costeros-marinos>

IDEAM. (2018). Caracterización de las causas y agentes de la transformación del bosque natural en Colombia: avances y perspectivas. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM - Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono SMBByC.

IDEAM. (2021). Presentación del Sistema SMBByC. Obtenido de Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono para Colombia SMBByC: <http://smbyc.ideam.gov.co/MonitoreoBC-WEB/reg/indexLogOn.jsp>

IDEAM. (2022). Actualización de cifras de monitoreo de la superficie de bosque – Año 2021. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM-. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

IDEAM. Sistema para el monitoreo de puntos de calor sobre la superficie detectados satelitalmente” del SMBByC. 2021.{En línea} <http://puntosdecalor.ideam.gov.co/>. (s.f.).

IGAC. (2014). Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Putumayo escala 1:100.000. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología.

IGAC. (2014). Sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial nacional sig-ot. Obtenido de Cartografía Base: <http://sigotvg.igac.gov.co:8080/>

IGAC. (2014b). Mapa Digital de Suelos del Departamento de Putumayo, República de Colombia. Escala 1:100.000. Año 2014. Obtenido de Instituto Geográfico Agustín Codazzi: <https://metadatos.icde.gov.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/b11993a5-3ff9-4687-8f83-4112ee2aa2ca>

IGAC. (2020). Origen Nacional. Obtenido de <https://origen.igac.gov.co/herramientas.html>

IGAC. (2023). Bases de datos Catastrales - Cobertura Departamental. Obtenido de Datos abiertos subdirección de Catastro: <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-catastro>

- IIAP. (2016). Caracterización de causas y agentes de deforestación en el pacífico colombiano. Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico.
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press. doi: doi:10.1017/9781009325844.
- ISO. (2013). ISO 19157:2013 Geographic information — Data quality. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/32575.html>
- i-teachers. (2022). How to prepare for a teaching interview. Obtenido de <https://www.i-teachers.com/how-to-prepare-for-a-teaching-interview/>
- Johnson, B., & Turner, L. (2003). Data Collection Strategies in mixed methods research. En A. Tashakkori, & C. Teddue, Handbook of mixed methods in social & behavioral research (págs. 297-305). Thousands Oaks-London-New Delhi: Sage Publication. Obtenido de https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=F8BFOM8DCKoC&oi=fnd&pg=P297&dq=Data+collection+techniques+and+instruments+within+the+research+process&ots=gWiMxyqsJf&sig=8fv3npZr9QQoDeAwLAZNvV3AkAY&redir_esc=y#v=onepage&q=data%20collection&f=false
- Kaimowitz, D. (07 de mayo de 2019). La ganadería extensiva explica la mayoría de la deforestación en América Latina. (L. Morales, Entrevistador) Colombia: Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina y el Caribe (CODS. doi:<https://cods.uniandes.edu.co/la-ganaderia-extensiva-explica-la-mayoria-de-la-deforestacion-en-a-latina/>
- Kaimowitz, D., & Angelsen, A. (1998). Economic models of tropical deforestation a review. Obtenido de Center for International Forestry Research: http://www.cifor.cgiar.org/publications/pdf_files/Books/model.pdf.
- Kanninen, M., Murdiyarso, F., Seymour, F., Angelsen, A., Wunder, S., & German, L. (2008). ¿Crecen los arboles sobre el dinero? Implicaciones de la investigación sobre deforestacion en las medidas para promover la REDD. Obtenido de Forest Perspectives 4. Indonesia: CIFOR.: http://www.cifor.cgiar.org/publications/pdf_files/Books/BKanninen0801SP.pdf.

Kissinger, G., Herold, M., & De Sy, V. (2012). Drivers of Deforestation and Forest Degradation: A Synthesis Report for REDD+ Policymakers. Vancouver Canada: Lexeme Consulting.

KoboToolbox. (2023). KoboToolbox. Obtenido de <https://www.kobotoolbox.org/>

Kumar, L., & Mutanga, O. (2019). Google Earth Engine Applications. *Remote Sensing, Teledetección* (ISSN 2072-4292) de 2016 a 2019. doi:https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/GEE

La Silla Vacia. (2021). La paz se derrumba en putumayo. Obtenido de La Silla Vacia: <https://www.lasillavacia.com/historias/silla-nacional/la-paz-se-derrumba-en-putumayo/>

Lamprecht, H. (1990). Silvicultura en los trópicos. Eschborn: GTZ Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.

Lapola, D., & et al. (2023). The drivers and impacts of Amazon forest degradation. *Science*, 379(6632). doi:10.1126/science.abp8622

Laurance, W. (1998). A crisis in the making: responses of Amazonian forests to land use and climate change. *Tree*, 13(10), 411-415.

Laurance, W., Camargo, J., Luizao, R., Laurance, S., Pimm, S., Bruna, E., & Stouffer, P. (2011). The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. *Biol. Conserv*, 144, 56-67.

Levante. (22 de ago de 2022). Los incendios forestales destruyen en todo el mundo el doble de árboles que hace 20 años. Levante. Obtenido de <https://www.levante-emv.com/tendencias21/2022/08/19/incendios-forestales-destruyen-mundo-doble-73688191.html>

Losada, N. (2020). Google Earth Engine, una herramienta más de descarga de imágenes satélites. Obtenido de Geoinnova: <https://geoinnova.org/blog-territorio/google-earth-engine-una-herramienta-mas-de-descarga-de-imagenes-satelites/>

Lu, D., Mausel, P., Brondízios, E., & Moran, E. (2004). Change Detection Techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365–2407. doi:DOI: 10.1080/0143116031000139863

MAAP. (2020). MAAP #120: DEFORESTACIÓN EN LA AMAZONÍA COLOMBIANA – 2020.

Obtenido de Monitoring of the Andean Amazon Project:
<https://www.maaproject.org/2020/colombia-2020/>

Marshall, M. (1996). Sampling for qualitative research. *Fam Pract*, 13(6), 522-525.

Martínez, C. (2012). El muestreo en investigación cualitativa. Principios básicos y algunas controversias. *Ciêncie & Saúde Coletiva*, 17(3), 613-619.

Martínez, J. (2011). Métodos de investigación cualitativa. *Silogismo*, 8, 1-34.

Martínez, L. (2020). Optimización de la clasificación supervisada de imágenes de satélite a partir de información de RPAS para la actualización de la variable cobertura del suelo del marco maestro rural agropecuario (MMRA). Proyecto presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Topográfico . Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Martínez, R., & Fernández, A. (2008). Árbol de problema y áreas de intervención. En CEPAL, *Metodologías e instrumentos para la formulación, evaluación y monitoreo de programas sociales*. México: CEPAL.

MAVDT. (2002). Plan nacional de prevención, control de incendios forestales y Restauración de Áreas Afectadas. Bogotá. Obtenido en https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Los-Incendios-Forestales/554_plan_prevencion_incendios.pdf: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Meisel, A., Bonilla, L., & Sánchez, A. (2013). Geografía económica de la Amazonía Colombiana. Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana, no. 011540. Cartagena: Banco de la República.

Mendoza, J., & Etter, A. (2002). Multitemporal analysis (1940-1996) of land cover changes in the southwestern Bogota highplain (Colombia). *Landscape Urban Plan*, 59(3), 147-158.

Meng, X., Xie, S., Sun, L., Liu, L., & Han, Y. (2023). Evaluation of temporal compositing algorithms for annual land cover classification using Landsat time series data. *International journal of digital earth*, 16(1), 2574-2598.
doi:<https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2230958>

MEROS. (2017). Plan de Desarrollo Integral Andinoamazónico 2035. Puerto Asís, Colombia: Mesa Regional de Organizaciones Sociales del Putumayo, Baja Bota Caucana y Cofanía Jardines de Sucumbíos (Nar) -MEROS; Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural -MADR.

Meza-Elizalde, M., & Armenteras, D. (2018). Uso del suelo y estructura de la vegetación en paisajes fragmentados en la Amazonia, Colombia. Colombia Forestal, 21(2), 205-223. doi:<http://dx.doi.org/10.14483/2256201X.12330>

Millington, J., & Wainwright, J. (2017). Mixed qualitative-simulation methods: Understanding geography through thick and thin. Progress in Human Geography, 68-88. doi:[10.1177/0309132515627021](https://doi.org/10.1177/0309132515627021)

MINAGRICULTURA. (2021). Cumplimiento a la sentencia 4360-201. Obtenido de <https://www.minagricultura.gov.co/PIVAC/Paginas/Inicio.aspx>

MINAGRICULTURA. (2021). Pacto Intergeneracional por la Vida de la Amazonía Colombiana #PIVAC. Obtenido de <https://www.minagricultura.gov.co/PIVAC/Paginas/Inicio.aspx>

Minambiente. (2017). Conservacion de especies en la amazonia. Recuperado el 2023, de Minambiente.gov.co: <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2804-conservacion-de-especies-en-la-amazonia>

MINAMBIENTE-IDEAM. (2018). Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/Estrategia_Integral_de_control_a_la_Deforestacion_y_Gestion_de_los_Bosques.pdf

Minambiente-Ideam. (2019). Propuesta de nivel de referencia de las emisiones forestales por deforestación en Colombia para pago por resultados de REDD+ bajo la CMNUCC. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MINAMBIENTE e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.

MINCIT. (2023). Perfiles Económicos Departamentales. Obtenido de Ministerio de Comercio, Industria y Turismo: <https://www.mincit.gov.co/getattachment/35f426f4-7a95-4dd7-8b8a-f7d7b7919906/Putumayo.aspx>

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/planeacion-y-seguimiento/objetivos-de-desarrollo-sostenible-ods/>
- MINJUSTICIA. (2017). Catálogo de Servicios Geográficos. Obtenido de Observatorio de drogas de Colombia: <https://www.minjusticia.gov.co/programas-co/ODC/Documents/GEO DATA/catalogo-servicios/index.html>
- MiraMon. (2023). MiraMon. Sistema de Información Geográfica y software de Teledetección. Obtenido de MiraMon. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF).: https://www.miramon.cat/Index_es.htm
- Moncada, D. (2010). Análisis espacio-temporal del cambio en los bosques la Alfarería, Ráquira, Boyacá. Revista Colombiana Forestal, 13, 275-298.
- Montero, R. (2016). Modelos de regresión lineal múltiple. Documentos de Trabajo en Economía Aplicada. España: Departamento de Economía Aplicada. Universidad de Granada. Obtenido de https://www.ugr.es/~montero/matematicas/regresion_lineal.pdf
- Moore, R., & Hansen, M. (2011). Google Earth Engine: a new cloud-computing platform for global-scale earth observation data and analysis. American Geophysical Union. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/258471396_Google_Earth_Engine_a_new_cloud-computing_platform_for_global-scale_earth_observation_data_and_analysis
- Morales-Barquero, L., Skutsch, M., Jardel-Pérez, E., Ghilardi, A., Kleinn, C., & Healey, J. (2014). Operationalizing the definition of Forest Degradation for REDD+, with Application to Mexico. *Forests*, 5(7), 1653-1681. doi:doi:10.2290/f5071653
- Mugiraneza, T., Nascetti, A., & Ban , Y. (2020). Continuous Monitoring of Urban Land Cover Change Trajectories with Landsat Time Series and LandTrendr-Google Earth Engine Cloud Computing. *Remote Sensing*, 12, 2883. doi:doi:10.3390/rs12182883
- Mukhopadhyay, A., & Maulik, U. (2009). Unsupervised Pixel Classification in Satellite Imagery Using Multiobjective Fuzzy Clustering Combined With SVM Classifier. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 47(4), 1132-1138.

Murgueitio, E., & Calle, Z. (1999). Diversidad Biológica en Sistemas de Ganadería Bovina en Colombia. En E. F. 143, Agroforestería para la producción animal en América Latina (págs. 53-72). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación -FAO.

Naidoo, L., Cho, M., Mathieu, R., & Asner, G. (2012). Classification of savanna tree species, in the Greater Kruger National Park region, by integrating hyperspectral and LiDAR data in a Random Forest data mining environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 167-179. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.03.005>

Navarro, W. (2022). Técnicas multivariantes para la clasificación de tres tipos de cobertura de suelo en parcelas de cítricos mediante la utilización de imagen unitemporal Sentinel-2. Máster Universitario en Ingeniería de Análisis de Datos, Mejora de Procesos y Toma de Decisiones. Universitat Politècnica de València. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/182948>

Negret, P., Sonter, J., Watson, H., Possingham, K., Jones, C., Suarez, J., . . . Maron, M. (2019). Emerging evidence that armed conflict and coca cultivation influence deforestation patterns. *Biological Conservation*, 239(108176).

Newman, M., McLaren, K., & Wilson, B. (2011). Comparing the effects of classification techniques on landscape-level assessments: pixel-based versus object-based classification. *International Journal of Remote Sensing*, 32(14), 4055-4073. doi:DOI: 10.1080/01431161.2010.484432

Nguyen, L., Joshi, D., Clay, D., & Henebry, G. (2020). Characterizing land cover/land use from multiple years of Landsat and MODIS time series: A novel approach using land surface phenology modeling and random forest classifier. *Remote Sensing of Environment*, 238. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.016>

Niclòs, R., Estrela, M., Valiente, J., & Barbera, M. (2010). Clasificación periódica de coberturas terrestres a escala regional con imágenes modis. *GeoFocus*, 1-17. Obtenido de <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/190>

OEA. (1993). Plan Colombo-Peruano para el Desarrollo Integral de la Cuenca del Río Putumayo - Diagnóstico Regional Integrado. Washington: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos -OEA.

- Ojima, D., Galvin, K., & Turner, B. (1994). The global impact of land-use change. *BioScience*, 44(5), 300-304.
- Olaya, C., Daza, N., & Annear, C. (2022). ¿Carne deforestadora? Cuellos de botella en el control de las cadenas de suministro de carne bovina en Colombia. Bogotá: Editorial Dejusticia. Obtenido de <https://www.dejusticia.org/wp-content/uploads/2022/05/CarneDeforestadora-Web-Jun8-1.pdf>
- Oliveira de Filho, F.J.B. and J.P. Metzger (2006). "Thresholds in landscape structure for three common deforestation patterns in the Brazilian Amazon." *Landscape Ecology* (2006) 21:1061–1073. (s.f.).
- ONIC. (2013). Resguardo Calenturas. Obtenido de Organización Nacional Indígena de Colombia - ONIC: https://wiki.monitoreoterritorial-onic.co/index.php?title=Resguardo_Calenturas#cite_note-idem-2
- OSHA. (2022). Briefing Departamental, Putumayo . Obtenido de United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs: <https://www.humanitarianresponse.info/en/operations/colombia/document/briefing-departamental-putumayo-enero-diciembre-2021>
- Otero, I., & Piniero, M. (2019). Avances y retos en el accionar del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para controlar la deforestación en la Amazonía Colombiana. *Espacio y Desarrollo*, 33, 91-116. doi:<https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201901.005>
- Padró, J., Muñoz, J., Ávila, L., Pesquer, L., & Pons, X. (2018). Radiometric Correction of Landsat-8 and Sentinel-2A Scenes Using Drone Imagery in Synergy with Field Spectroradiometry. *Remote Sensing*, 10(1687). doi:[doi:10.3390/rs10111687](https://doi.org/10.3390/rs10111687)
- Patton, M. (1980). Qualitative evaluation methods. Beverly Hills, CA: Sage.
- Patton, M. (2002). Qualitative research and evaluation methods. 3a. Ed. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Pech, F., Aquino, R., & Delgadillo, J. (2023). Sentinel-1 SAR Images and Deep Learning for Water Body Mapping. *Remote Sens*, 15(12). doi:<https://doi.org/10.3390/rs15123009>
- Peña, L., Amado, A., Samacá, R., Rodríguez, J., Torres, G., Arenas, J., & Estupiñan, V. (2016). Orientaciones para reducción de la deforestación y degradación de los

bosques. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas «SINCHI» y GIZ. Obtenido de <https://www.sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/Orientaciones%20para%20Reduc%20Deforest%20Amaz%20ColSINCHIGIZ2016.pdf>

Pineda, C., Olaya, E., & Tosse, O. (2014). Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado el 12 de abr de 2023, de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Anexo-24.-Guia-Tecnica-Formulacion-POMCAs.pdf>

Planet. (2023a). PlanetScope. Obtenido de Constellation and sensor overview: <https://developers.planet.com/docs/data/planetscope/>

Planet. (2023b). Education and Research Program. Obtenido de Planet: <https://www.planet.com/markets/education-and-research/>

Planet. (2023c). Developers. Obtenido de Band order and sensor frequency: <https://developers.planet.com/docs/apis/data/sensors/#the-ps2sd-instrument>

Planet. (2023d). RapidEye. Obtenido de Planet developers: <https://developers.planet.com/docs/data/rapideye/>

Planet Labs. (2022a). planet explorer. Obtenido de <https://www.planet.com/explorer/#>

Planet Labs. (2022b). Planet Education and Research Program. Obtenido de <https://www.planet.com/markets/education-and-research/>

PlanetLabs. (2016). Satellite Imagery Product Specifications. Obtenido de https://assets.planet.com/docs/1601.RapidEye.Image.Product.Specs_Jan16_V6.1_ENG.pdf

Prasad, A., Ganasala, P., Hernández, R., & Fathian, F. (2022). Remote sensing satellite data and spectral indices: an initial evaluation for the sustainable development of an urban area. Sustainable Water Resources Management, 8(1). doi:10.1007/s40899-022-00607-2

Pulecio, J. (2006). La Reforma Agraria en Colombia: ¿Una tarea inconclusa? Observatorio de la Economía Latinoamericana(61), Recuperado el 25 de sep de 2018. <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/co/06/jhpf.htm>.

Radio Nacional. (2021). Red de DD.HH. del Putumayo denuncia el asesinato de cuatro personas en Yurilla. Obtenido de <https://www.radionacional.co/regiones/putumayo/asesinato-yurilla-cuatro-personas-denuncia>

Rae, H. (2018). Impulsores de deforestación y percepción de cambios de uso de suelo en paisajes ganaderos en tres municipios de Campeche, México. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en Agroforestería y Agricultura Sostenible. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza -CATIE.

Raj, D. (1980). Teoría de muestreo. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.

Ramírez, J., Galindo, G., Yepes, A., & Cabrera, E. (2018). Estimación de la degradación de bosques de Colombia a través de un análisis de fragmentación. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS.

Rangel, O. (2005). La biodiversidad en colombia. PALIMYHSTOS - PALIMPSESTVS - PALIMPSESTO, 292-304. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/palimpsestvs/article/view/8083/8727>

Resolución 532 del 26 de abril del 2005 del MAVDT. (s.f.). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Reynoso, L., & Oquendo, C. (2022). La violencia en Putumayo, el gran reto de la paz total. Obtenido de El País: <https://elpais.com/america-colombia/2022-11-23/la-violencia-en-putumayo-el-gran-reto-de-la-paz-total.html>

Riaño, O. (2002). Consideraciones y métodos para la detección de cambios empleando imágenes de satélite en el municipio de Paipa. Colombia Forestal, 7(15). doi:<https://doi.org/10.14483/2256201X.3306>

Riquelme, J., Barrientos, R., Hernández-García, R., & Navarro, C. (2020). An exhaustive algorithm based on GPU to process a kNN query. 39th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC), (págs. 1-8). Coquimbo, Chile. doi:[10.1109/SCCC51225.2020.9281231](https://doi.org/10.1109/SCCC51225.2020.9281231)

Rivera, D. (2019). Agricultura tradicional de roza, tumba y quema en el bosque seco de la Reserva Natural Victoria (Melgar, Tolima): Transición a la no quema. Trabajo de

grado Maestría Transdisciplinaria en Sistemas de Vida Sostenible. Bogotá: Universidad Externado de Colombia Facultad de Ciencias Sociales y Humanas.

Rivero, A., Valdés, L., Valdés, R., & Sarmiento, A. (2020). Problemas sociales que afectan la diversidad arbórea en la parte alta de la cuenca del río "San Diego". Ecovida, 10(1), 109-120.

Rodríguez, J. M. (2011). Métodos de investigación cualitativa. Revista de Investigación Silogismo, 1(08).

Rodríguez, L. (2021). Caracterización sociodemográfica de la subregión PDET Putumayo a partir de los resultados del censo nacional de población y vivienda 2018. Trabajo de grado para optar por el título de trabajadora social. Bogotá: Universidad Externado de Colombia. Obtenido de <https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/cfd38565-7f0e-4f34-9627-fb6300b50a7c/content>

Rodríguez, N. (2011). Deforestation in Colombia: spatial dynamics, drivers and modelling. Centre de Recerca Ecológica i Aplicacions Forestals y Unidad de0ASF.

Rosoman, G. (2015). Capítulo 5: Conservación de fragmentos de bosque con reservas elevadas de carbono: antecedentes y principios. En "The HCS Approach Toolkit." Version 1.0. Kuala Lumpur: Grupo Coordinador del Enfoque HCS. Obtenido de <https://docplayer.es/33689420-Capitulo-5-conservacion-de-fragmentos-de-bosque-con-reservas-elevadas-de-carbono-antecedentes-y-principios.html>

Rosoman, G., Sheun, S., Opal, C., Anderson, P., & Trapshah, R. (2017). Module 4: Forest and vegetation stratification. En The HCS Approach Toolkit V2.0. High Carbon Stock Approach Steering Group.

Ruiz, M. (2021). Análisis multitemporal del espejo de agua del embalse del Muña mediante imágenes satelitales Sentinel. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/39257>

Rutas del Conflicto. (2020). Municipio: Puerto Guzmán. Obtenido de Convenios de fuerza y justicia: <https://rutasdelconflicto.com/convenios-fuerza-justicia/node/323>

Saldarriaga, F. (2020). Matriz de Vester y Árbol de Problemas - Clase completa de identificación de problemas para proyectos. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=ZA2DBIF3GQQ>

Salgado, L. (2000). Reforma Agraria Integral. Documento no publicado. Bogotá: Escuela Superior de Administración Pública (ESAP). Recuperado el 20 de oct de 2018, de Escuela Superior de Administración Pública (ESAP): [http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/documentos%20pdf/reforma%20agraria%20integral%20-%20\(61%20p%C3%A1g%20-%20114%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/documentos%20pdf/reforma%20agraria%20integral%20-%20(61%20p%C3%A1g%20-%20114%20kb).pdf)

San Martín, J., Hernández, S., & Martín, J. (2001). Definición de un índice para evaluar la continuidad del paisaje: cálculo y utilización del mismo mediante sistemas de información geográfica. Universidad de Valladolid. doi:DOI: 10.13140/RG.2.1.4000.0085

Santos, T., & Tellería, J. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. Ecosistemas, 2, 3-12. Obtenido de http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=423&Id_Categoría=2&tipo=portada

Santos, T., & Tellería, J. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. Ecosistemas, 15(2), 3-12. Recuperado el 28 de ene de 2023, de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/180>

Scientific Software Development GmbH. (2023). Obtenido de ATLAS.ti: <https://atlasti.com/es>

Segura, R., & Trincado, G. (2003). Cartografía digital de la Reserva Nacional Valdivia a partir de imágenes satelitales Landsat TM. Bosque (Valdivia), 43-52. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002003000200005>

Semana Sostenible. (08 de feb de 2021). Mafias deforestadoras habrían cambiado su estrategia delictiva en el Meta. Semana Sostenible. Obtenido de FCDC: <https://www.semana.com/impacto/articulo/mafias-deforestadoras-habrian-cambiado-su-estrategia-delictiva-en-el-meta/59215/>

Serra, P., Moré, G., & Pons, X. (2010). Influencia del tamaño de píxel y del método de interpolación durante la georreferenciación de imágenes de satélite. En J. Ojeda, M. Pita, & I. Vallejo, Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos (págs. 362-369). Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de. Obtenido de

<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/66416/SERRA.PDF?sequence=1&isAllo wed=y>

Serra, P., Pons, X., & Saurí, D. (2003). Post-classification change detection with data from different sensors: some accuracy considerations. *Remote Sensing*, 24(16), 3311–3340. doi:DOI: 10.1080/0143116021000021189

Serra, P., Pons, X., & Saurí, D. (2008). Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. *Applied Geography* , 28, 189–209. doi:doi:10.1016/j.apgeog.2008.02.001

Servicio Geológico Colombiano. (2017). Planchas: 450, 451, 452, 467, 468, 469 a escala 1:100.000. Obtenido de Servicio Geológico Colombiano 2015-2016: https://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado_Cartografia_Geologica/

Seymour, F., & Busch, J. (2014). Natural forests capture CO₂; deforestation releases CO₂ (Imagen). Natural forests capture CO₂; deforestation releases CO₂. Center for Global Development. Obtenido de <https://www.cgdev.org/publication/ft/why-forests-why-now-preview-science-economics-politics-tropical-forests-climate-change>

SGC. (2016). Elaboración de la cartografía geológica de un conjunto de planchas a escala 1:100 000 ubicadas en el territorio nacional, identificadas por el servicio geológico colombiano. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano. Obtenido de <https://recordcenter.sgc.gov.co/B17/23008010028485/Documento/Pdf/2105284851103000.pdf>

Shapiro, A., Aguilar, N., Hostert, P., & Bastin, J. (2016). Using fragmentation to assess degradation of forest edges in Democratic Republic of Congo. *Carbon Balance Manage*, 11(11). doi:DOI 10.1186/s13021-016-0054-9

SINCHI. (2014). Informe final del análisis de motores, agentes y causas subyacentes de la deforestacion para el área del “Proyecto de implementación temprana del departamento del Guaviare y del área de referencia. Bogotá, Colombia: Patrimonio Natural; Instituto Amazónico de Investigaciones científicas SINCHI; Grupo de gestión de información ambiental y zonificacion del territorio: Amazonia Colombiana GIATZ.

SINCHI. (2020). Capa de Coberturas de la tierra de la Amazonia colombiana. Escala 1:100.000. Periodo 2018. Versión 3. Obtenido de SIAT-AC: <https://datos.siatac.co/datasets/152ae6>

SINCHI. (2021). Capa de Coberturas de la tierra de la Amazonía colombiana. Escala 1:100.000. Periodo 2020. Versión 1. Obtenido de SIATAC: <https://aplicaciones.siatac.co/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/09aa2b36-38d8-44c6-b935-dbb8ef6b89b0>

SINCHI. (2021b). Capa de Coberturas de la tierra de la Amazonía colombiana. Escala 1:100.000. Periodo 2020. Versión 1. Obtenido de SIAT-AC: <https://aplicaciones.siatac.co/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/09aa2b36-38d8-44c6-b935-dbb8ef6b89b0>

SINCHI. (2022). Minería ilegal en Puerto Guzmán. Bogotá: Convenio interadministrativo No. 729 de 2022 suscrito entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-SINCHI". Obtenido de <https://siatac.co/Documentos/Atlas/conflictos/Mineri%CC%81a%20illegal%20en%20Puerto%20Guzma%CC%81n.pdf>

Singh, A. (1989). Digital change detection techniques using remotely-sensed data. International Journal of Remote Sensing, 10, 989-1003.

SMT-ONIC. (2022). Puerto Guzmán. Obtenido de Sistema de Monitoreo Territorial: <https://wiki.monitoreoterritorial-onic.co/index.php?search=puerto+guzm%C3%A1n&title=Especial%3ABuscar&file=default&fulltext=1>

Song, X., Hansen, M., Stehman, S., & et al. (2018). Global land change from 1982 to 2016. Nature, 560, 639-643. doi:<https://doi.org/10.1038/s41586-018-0411-9>

Sozzi, M., Marinello, F., Pezzuolo, A., & Sartori, L. (2018). Benchmark of Satellites Image Services for Precision Agricultural use. European Conference on Agricultural Engineering AgEng. Wageningen, the Netherlands. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy11112098>

Steenmans, & Pinborg. (2000). Chapter 5: Anthropogenic fragmentation of potential seminatural and natural areas. En A. E. Ambiente, From Land Cover to Landscape Diversity in the European Union.

Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 164, 152-170. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>

Tardà, A. (2022). Identificació i traçabilitat de les masses forestals al Massís del Montseny, a partir de l'anàlisi espectral de sèries temporals de dades d'Observació de la Terra. Tesi doctoral . Programa de Doctorat en Geografia, Planificació Territorial i Gestió Ambiental. Programa de Doctorat en Geografia, Planificació Territorial i Gestió Ambiental.

Thanh, N., Kuch, V., & Lehnert, L. (2020). Land Cover Classification using Google Earth Engine and Random Forest Classifier—The Role of Image Composition. *Remote sensing*, 12(2411), 1-22. doi:doi:10.3390/rs12152411

Thanh, P., & Kappas, M. (2018). Comparison of Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine Classifiers for Land Cover Classification Using Sentinel-2 Imagery. *Sensors*, 18(18). doi:doi:10.3390/s18010018

Thompson, I., Guariguata, M., Okabe, K., Bahamondez, C., Nasi, R., Heymell, V., & Sabogal, C. (2013). An Operational Framework for Defining and Monitoring Forest Degradation. *Ecol Soc*, 18. doi:doi:10.5751/ES-05443-180220

Tiria, L., Bonilla, J., & Bonilla, C. (2018). Transformación de las coberturas vegetales y uso del suelo en la llanura amazónica colombiana: el caso de Puerto Leguízamo, Putumayo (Colombia). *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 27(2), 286-300, Doi: 10.15446/rcdg.v27n2.70441.

Todd, Z., Nerlich, B., & McKeown, S. (2004). *Mixing methods in psychology*. Hove. East Sussex, UK: Psychology Press.

Toribio, G. (2020). Clasificación no supervisada en QGIS 3. Obtenido de Grupo TycGis: <https://www.cursosteledeteccion.com/clasificacion-no-supervisada-en-qgis-3/#:~:text=La%20clasificaci%C3%B3n%20no%20supervisada%20es,informaci%C3%B3n%20num%C3%A9rica%20de%20los%20datos>.

Toth, C., & Józków, G. (2015). Remote sensing platforms and sensors: A survey. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1-15. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.004>

Triviño, A., Vicedo, M., & Soler, G. (2007). Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente. *GeoFocus*, 7, 148-170.

- Turner II, B., Lambin, E., & Verburg, P. (2021). From land-use/land-cover to land system science. *Ambio*, 50, 1291-1294. doi:<https://doi.org/10.1007/s13280-021-01510-4>
- Tyukavina , A., Potapov, P., Hansen, M., Pickens, A., Stehman, S., Turubanova, S., . . . Harris, N. (2022). Global Trends of Forest Loss Due to Fire From 2001 to 2019. *Frontiers in remote sensing*, 3, 1-20. doi:doi: 10.3389/frsen.2022.825190
- UD-CORPOAMAZONIA. (2003). Plan De Ordenacion Forestal Mecaya – Sencella Putumayo. Capítulo I. Caracterización General. Bogotá: Convenio de cooperación interinstitucional científico y tecnológico 053-2003 Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia.
- UD-CORPOAMAZONIA. (2003). Plan de Ordenación Forestal Tarapaca Amazonas. Convenio de cooperación interinstitucional científico y tecnológico 053-2003. Universidad Distrital Francisco José De Caldas -UD y Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur De La Amazonia -Corpoamazonia.
- UN. (2019). La Agenda para el Desarrollo Sostenible. Obtenido de Objetivos de Desarrollo Sostenible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- UNFCCC. (2001). COP-7: The Marrakech accords. Bonn, Germany: UNFCCC Secretariat. Obtenido de <https://unfccc.int/>
- UNFCCC. (2006). Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its first session, Decision 16/CMP.1 Land use, land-use change and forestry. Bonn, Germany: UNFCCC Publication.
- UNODC. (2021). Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2020. Bogotá: Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC)-Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (SIMCI). Obtenido de https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Colombia/Colombia_Monitoreo_de_terриторios_afectados_por_cultivos_ilicitos_2020.pdf
- UNODC. (2022). Colombia. Explotación de oro de aluvión. Evidencias a partir de percepción remota 2021. UNODC. Obtenido de https://www.unodc.org/documents/colombia/2022/Junio/Informe_Colombia_Explotacion_de_Oro_de_Aluvion_Evidencias_a_Partir_de_Percepcion_Remota_2021_SP_.pdf

- UNODC. (2023). Información geográfica. Obtenido de Visor ODC: <https://visor.odc.gov.co/>
- UNODC. (2023b). Metadata del índice de cronicidad. Obtenido de <https://visor.odc.gov.co/Metadata/Indice%20de%20cronicidad.pdf>
- UNODC-SIMCI. (2021). Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos . Bogotá: Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito-Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos.
- UPRA. (2019). Departamento de Putumayo. Obtenido de Gestión de Información Agropecuaria:
[https://www.google.com/search?q=UPRA.+%\(2019\).+Gesti%C3%B3n+de+Informaci%C3%B3n+Agropecuaria.+Departamento+de+Putumayo.+Bogot%C3%A1%2C+Columbia.&rlz=1C1CHBF_esCO959CO960&oq=UPRA.+%\(2019\).+Gesti%C3%B3n+de+Informaci%C3%B3n+Agropecuaria.+Departamento+de+Putuma](https://www.google.com/search?q=UPRA.+%(2019).+Gesti%C3%B3n+de+Informaci%C3%B3n+Agropecuaria.+Departamento+de+Putumayo.+Bogot%C3%A1%2C+Columbia.&rlz=1C1CHBF_esCO959CO960&oq=UPRA.+%(2019).+Gesti%C3%B3n+de+Informaci%C3%B3n+Agropecuaria.+Departamento+de+Putuma)
- Uribe, S. (2020). Puerto Guzmán. Obtenido de Credencial:
<https://www.revistacredencial.com/historia/temas/puerto-guzman>
- Uribe, S., & Guzmán, J. (2022). Entre la selva y el río: conflictos y transformaciones urbanas en Puerto Guzmán, Putumayo. HiSTOReLo. Revista de Historia Regional y Local , 14(29), 161-192. doi:<https://doi.org/10.15446/historelo.v14n29.93919>
- Uribe, S., Otero, S., & Peñaranda, I. (2021). Hacer el estado: carreteras, conflicto y órdenes locales en los territorios de las FARC. Revista de Estudios Sociales, 75, 87-100. doi:<https://doi.org/10.7440/res75.2021.08>
- Urquia, J. (2018). Comparación de métodos de clasificación supervisada y no supervisada entre paquetes de procesamiento digital de imágenes. Caracas: Complejo Tecnológico Simón Rodríguez. Edificio Sede Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57416068/CLASIFICACION_SUPERVISADA_Y_NO_SUPERVISADA_ENTRE_SOFTWARES-libre.pdf?1537451296=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAVANCE_Comparacion_de_metodos_de_clasiﬁ.pdf&Expires=1694313874&Signature=Jvp
- USGS. (2023). Landsat 8. Obtenido de USGS: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>

Uvigo. (2008). Fragmentacion habitat. Obtenido de https://revistaecosistemas.webs.uvigo.es/miniecosistemas/temas/fragmentacion_habitats.pdf

Vargas, D., & Campos, C. (2018). Sistema multi-algoritmo para la clasificación de coberturas de la tierra en el bosque seco tropical del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 31(1), 58-69. doi:DOI: 10.18845/tm.v31i1.34971

Vargas, O., Rivera, D., & Mendoza, M. (1989). Sistemas de producción campesina y manejo de los ecosistemas en las riberas del río Guejar, Reserva Natural Integral La macarena. *Cuadernos de agroindustria y economía rural*, 22, 77-112.

Verburg, P., Neumann, K., & Nol, L. (2011). Challenges in using land use and land cover data for global change studies. *Global Change Biology*, 17, 974-989. doi: doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02307.x

Verdad Abierta. (2019). Disidencias, el nuevo motor de la violencia de Putumayo. Obtenido de Verdad Abierta: <https://verdadabierta.com/disidencias-el-nuevo-motor-de-la-violencia-de-putumayo/>

Vidal-Macua, J., Ninyerola, M., Zabala, A., Domingo, C., & Pons, X. (2017a). Factors affecting forest dynamics in the Iberian Peninsula from 1987 to 2012. The role of topography and drought. *Forest Ecology and Management*, 406, 290-306. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.011>

Vidal-Macua, J., Ninyerola, M., Zabala, A., Domingo, C., González, O., & Pons, X. (2018). Environmental and socioeconomic factors of abandonment of rainfed and irrigated crops in northeast Spain. *Applied Geography*, 155-174. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.12.005>

Vidal-Macua, J., Zabala, A., Ninyerola, M., & Pons, X. (2017b). Desarrollar mapas retroactivos espacial y temáticamente para estudios de cobertura terrestre. *International journal of Digital Earth*, 10(2), 175-206. doi:<10.1080/17538947.2016.1213320>

Vila, D., Gil, M., & Iniesto, M. (2015). Detección de cambios en los usos de suelo a partir de clasificaciones no supervisadas para la actualización del SIOSE. Implementación en el territorio gallego. *Asociación Española de Teledetección*, 43, 63-75. doi:<http://dx.doi.org/10.4995/raet.2015.3409>

Visión Amazonía. (2019). Instrumento de Ordenamiento Territorial. Documento técnico de Soporte Municipio de Puerto Guzmán. Mocoa: Ministerio De Ambiente. Obtenido de https://visionamazonia.minambiente.gov.co/content/uploads/2021/04/1-DTS_DIAGNOSTICO_Puerto-Guzm%C3%A1n.pdf

Visión Amazonía. (2022). ENTENDER LA DEFORESTACIÓN EN LA AMAZONÍA: EL PRIMER PASO DE UN ENFOQUE INTEGRAL. Obtenido de Visión Amazonía: <https://visionamazonia.minambiente.gov.co/news/entender-la-deforestacion-en-la-amazonia-el-primer-paso-de-un-enfoque-integral/>

WWF-FCDS. (2019). Evaluación Ambiental Estratégica del Arco Noroccidental Amazónico . Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Programa Visión Amazonía, Proyecto Corazón de la Amazonía, Programa Rem.

Xie, S., Liu, L., Zhang, X., Yang, J., Chen, Z., & Gao, Y. (2019). Automatic Land-Cover Mapping using Landsat Time-Series Data based on Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 11(3023). doi:doi:10.3390/rs11243023

Yaffe, L. (2012). Conflicto armado en Colombia: análisis de las causas económicas, sociales e institucionales de la oposición violenta. *Revista CS*, 8, 187-208. Recuperado el 25 de sep de 2018. De <https://doi.org/10.18046/recs.i8.1133>.

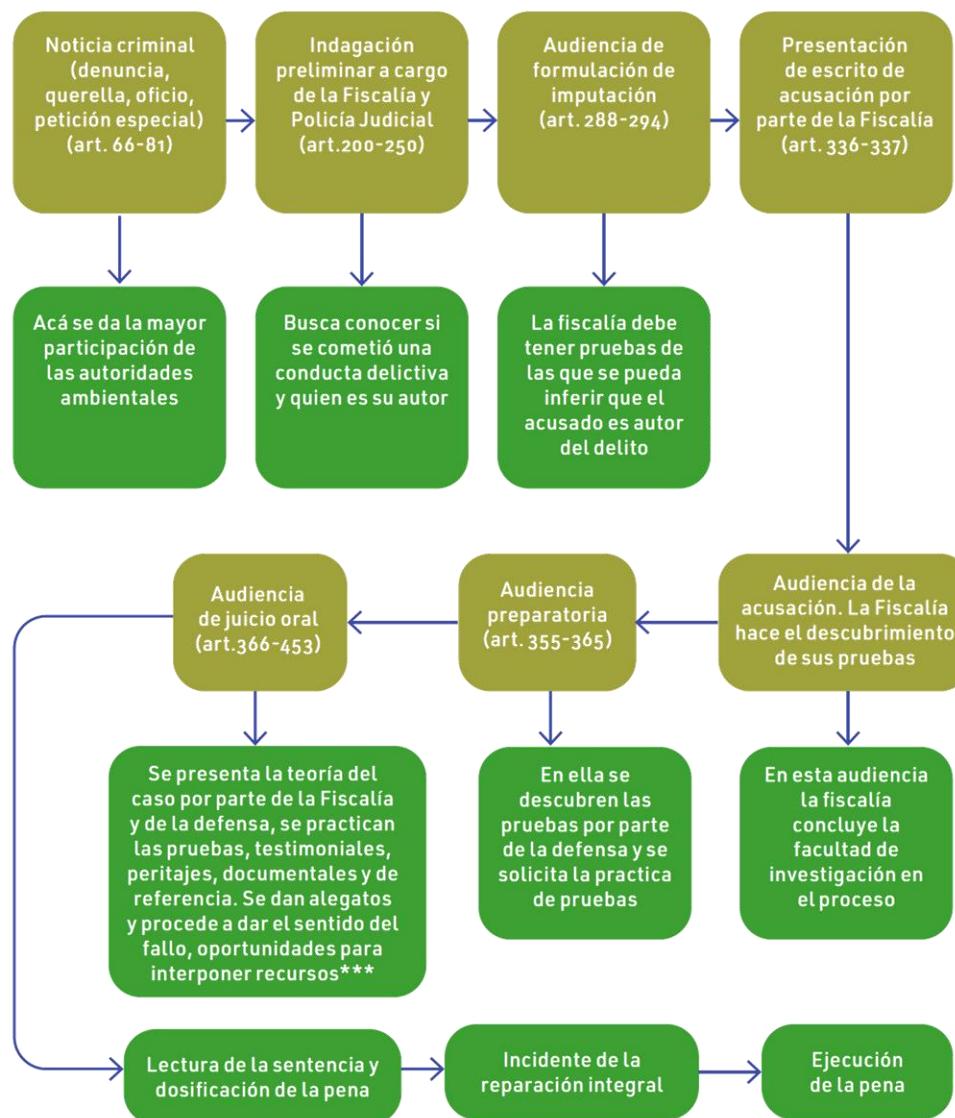
Yepes, F. (2001). Ganadería y transformación de ecosistemas: un análisis ambiental de la política de apropiación territorial. En G. Palacio, *Naturaleza en disputa. Ensayos de Historia Ambiental de Colombia 1850-1995*. Universidad Nacional de Colombia.

Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2010). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594. doi:<https://doi.org/10.1080/01431160304987>

Zhu, Z., & Woodcock, C. (2014). Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 144, 152-171. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.011>

ANEXOS

Anexo 1: Proceso penal en Colombia (Ley 906 de 2004)



Fuente: Güiza, 2021

Anexo 2: Entidades competentes y apoyo en los procesos judiciales contra la deforestación

Fiscalía General de la Nación. Competencia: Praderización, cultivos ilícitos, extracción de minerales	Ley 906 de 2004, art. 24	La Fiscalía es la encargada de iniciar el proceso penal a través de la indagación preliminar, pasando por las audiencias del proceso hasta llegar a la Sentencia. Acompaña todo el proceso y es la única con facultades jurisdiccionales en materia penal entre las autoridades ambientales
Corporaciones Regionales Autónomas (CAR) y de desarrollo sostenible	Ley 489 de 1998, art. 6.	"En virtud del principio de coordinación y colaboración, las autoridades administrativas deben garantizar la armonía en el ejercicio de sus respectivas funciones con el fin de lograr los fines y cometidos estatales.
Competencia: Praderización, cultivos ilícitos, extracción de minerales	Ley 99 de 1993, art.31, numeral 17.	En consecuencia, prestarán su colaboración a las demás entidades para facilitar el ejercicio de sus funciones y se abstendrán de impedir o estorbar su cumplimiento por los órganos, dependencias, organismos y entidades titulares (...)".
Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)	Código de Procedimiento Penal, art. 102	"Imponer y ejecutar a prevención y sin perjuicio de las competencias atribuidas por la ley a otras autoridades, las medidas de policía y las sanciones previstas en la ley, en caso de violación a las normas de protección ambiental y de manejo de recursos naturales renovables y exigir, con sujeción a las regulaciones pertinentes, la reparación de daños causados".
Competencia: Praderización y extracción de minerales	Decreto 4765 del 18 de diciembre de 2008, art. 6.o	Al igual que el ANLA, las CAR, al tener la función de imponer sanciones administrativas, están en el deber de reportar a la Fiscalía cuando como consecuencia de su investigación se constate la existencia de conductas punibles.
	Ley 1955 de 2019, arts. 156 - 157	Participar como víctima en el incidente de reparación.
		Conceder, suspender o cancelar licencias, registros, permisos de funcionamiento, comercialización, movilización, importación o exportación de animales, plantas, insumos, productos y subproductos agropecuarios, directamente o a través de los entes territoriales o de terceros, en los asuntos propios de su competencia.
		"El Estado es el titular de la potestad sancionatoria en materia sanitaria, fitosanitaria, de inocuidad y forestal comercial y la ejerce, sin perjuicio de las competencias legales de otras autoridades, a través del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), conforme lo dispuesto en la presente ley (...)".
		"Las infracciones a que se refiere la presente Ley serán objeto de sanción administrativa por parte del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), sin perjuicio de las acciones penales y civiles a que haya lugar (...)".

		<p>“En virtud del principio de coordinación y colaboración, las autoridades administrativas deben garantizar la armonía en el ejercicio de sus respectivas funciones con el fin de lograr los fines y cometidos estatales. En consecuencia, prestarán su colaboración a las demás entidades para facilitar el ejercicio de sus funciones y se abstendrán de impedir o estorbar su cumplimiento por los órganos, dependencias, organismos y entidades titulares (...)”.</p> <p>Los departamentos tienen en sus funciones: “(...) 2) Expedir, con sujeción a las normas superiores, las disposiciones departamentales especiales relacionadas con el medio ambiente; (...)</p> <p>4) Ejercer en coordinación con las demás entidades del Sistema Nacional Ambiental (SINA) y con sujeción a la distribución legal de competencias, funciones de control y vigilancia del medio ambiente y los recursos naturales renovables, con el fin de velar por el cumplimiento de los deberes del Estado y de los particulares en materia ambiental y de proteger el derecho a un ambiente sano; (...)</p> <p>7. Coordinar y dirigir con la asesoría de las Corporaciones Autónomas Regionales, las actividades de control y vigilancia ambientales intermunicipales, que se realicen en el territorio del departamento con el apoyo de la fuerza pública, en relación con la movilización, procesamiento, uso, aprovechamiento y comercialización de los recursos naturales renovables”.</p> <p>“(...) los departamentos, municipios y distritos, quedan investidos a prevención de la respectiva autoridad en materia sancionatoria ambiental. En consecuencia, estas autoridades están habilitadas para imponer y ejecutar las medidas preventivas y sancionatorias consagradas en esta Ley y que sean aplicables según el caso, sin perjuicio de las competencias legales de otras autoridades”.</p>
Administraciones Municipales	Competencia:	<p>“En virtud del principio de coordinación y colaboración, las autoridades administrativas deben garantizar la armonía en el ejercicio de sus respectivas funciones con el fin de lograr los fines y cometidos estatales. En consecuencia, prestarán su colaboración a las demás entidades para facilitar el ejercicio de sus funciones y se abstendrán de impedir o estorbar su cumplimiento por los órganos, dependencias, organismos y entidades titulares (...)”.</p> <p>Corresponde en materia ambiental a los municipios, y a los distritos con régimen constitucional especial, además de las funciones que les sean delegadas por la ley o de las que deleguen o transfieran a los alcaldes por el Ministerio del Medio Ambiente o por las Corporaciones Autónomas Regionales, las siguientes atribuciones especiales: (...)</p>

				6) Ejercer, a través del alcalde como primera autoridad de policía con el apoyo de la Policía Nacional y en Coordinación con las demás entidades del Sistema Nacional Ambiental (SINA), con sujeción a la distribución legal de competencias, funciones de control y vigilancia del medio ambiente y los recursos naturales renovables, con el fin de velar por el cumplimiento de los deberes del Estado y de los particulares en materia ambiental y de proteger el derecho constitucional a un ambiente sano;
Fuerzas Armadas	Competencia: Praderización, cultivos ilícitos, extracción de minerales	Ley 99 de 1996, art. 103 Ley 1333 de 2009, art. 2.		"Las Fuerzas Armadas velarán en todo el territorio nacional por la protección y defensa del medio ambiente y los recursos naturales renovables y por el cumplimiento de las normas dictadas con el fin de proteger el patrimonio natural de la nación, como elemento integrante de la soberanía nacional."
Policía Nacional. Policía Ambiental y de los Recursos Naturales	Competencia: Praderización, cultivos ilícitos, extracción de minerales	Ley 99 de 1996, art. 101		La Armada Nacional tendrá a su cargo el ejercicio de las funciones de control y vigilancia en materia ambiental y de los recursos naturales, en los mares y zonas costeras, así como la vigilancia, seguimiento y evaluación de los fenómenos de contaminación o alteración del medio marino". "(...) la Armada Nacional; así como los departamentos, municipios y distritos, quedan investidos a prevención de la respectiva autoridad en materia sancionatoria ambiental. En consecuencia, estas autoridades están habilitadas para imponer y ejecutar las medidas preventivas y sancionatorias consagradas en esta ley y que sean aplicables según el caso, sin perjuicio de las competencias legales de otras autoridades".
Instituto Hidrología, Meteorología Estudios Ambientales (IDEAM)	de y	Instituto Hidrología, Meteorología Estudios Ambientales (IDEAM)	de y	"La Policía Nacional tendrá un cuerpo especializado de Policía Ambiental y de los Recursos Naturales, encargado de prestar apoyo a las autoridades ambientales, a los entes territoriales y a la comunidad, en la defensa y protección del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y en las funciones y acciones de control y vigilancia previstas por la ley. (...) El cuerpo especializado de Policía de que trata este artículo prestará su servicio con prioridad en las zonas de reserva, parques nacionales y en las áreas de especial importancia ecosistémica y colaborará en las tareas educativas, promocionales y de prevención para el buen cuidado y respeto de la naturaleza".

extracción minerales	de extracción minerales	de Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono para Colombia —SMByC—, determinando el rol del IDEAM frente a su administración, y asignando la tarea de generar la información anual sobre la superficie y cambios del bosque natural, así como las alertas tempranas de deforestación trimestrales.
		Igualmente, se establece que el SMByC deberá proporcionar los lineamientos, herramientas, procedimientos, metodologías y estándares para producir dicha información y los mecanismos para disponer la información espacial de referencia, mapas, y otros insumos generados
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)	Decreto 208 de 2004, art. 17	Dirigir y coordinar la producción, procesamiento y divulgación de información sobre la descripción, distribución, organización y dinámica del espacio geográfico del país, con el fin de apoyar los procesos de planificación y desarrollo territorial. Desarrollar el Sistema de Información de Tierras con base en el predio, como apoyo al desarrollo y el ordenamiento territorial. Coordinar y controlar la elaboración y el mantenimiento de la Base Nacional de Datos Catastrales, con sus atributos físicos, económicos, jurídicos y fiscales, con fines tributarios y de apoyo a los órganos judiciales y de control. Implementar, administrar y mantener debidamente actualizado el Sistema de Información de Tierras con Base en el predio y asegurar la calidad de la información correspondiente.

Fuente: adaptado a partir de Güiza, 2021, p. 177

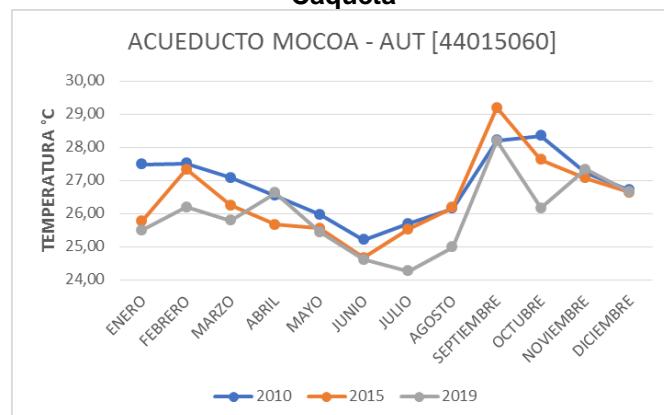
Anexo 3: Actualización de variables climáticas para el periodo de estudio: Temperatura y precipitación

Se presentan las variables de temperatura y precipitación para los años de 2010, 2015 y 2019. Estas variables fueron obtenidas a partir de los datos colectados de forma diaria por las estaciones meteorológicas localizadas en puntos estratégicos. Los datos fueron solicitados al IDEAM, entidad que facilitó la información, la cual fue procesada en datos promedio mensuales para la variable de temperatura y acumulado mensual para la precipitación.

Temperatura de la región del Piedemonte o Cuenca del Río Caquetá

MOCOA	2010	2015	2019
ENERO	27,48	25,78	25,50
FEBRERO	27,51	27,34	26,19
MARZO	27,08	26,25	25,79
ABRIL	26,54	25,66	26,63
MAYO	25,97	25,55	25,44
JUNIO	25,20	24,66	24,61
JULIO	25,69	25,52	24,26
AGOSTO	26,15	26,18	24,98
SEPTIEMBRE	28,21	29,20	28,20
OCTUBRE	28,35	27,63	26,17
NOVIEMBRE	27,23	27,07	27,33
DICIEMBRE	26,70	26,63	26,65

Comparación variable de temperatura 2010 – 2015 - 2019 en la región del Piedemonte o Cuenca del Río Caquetá

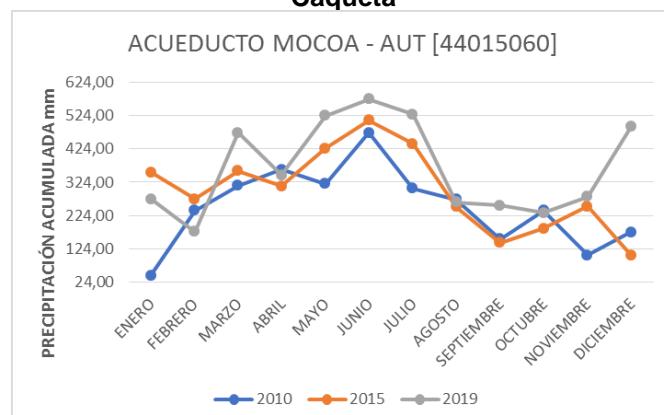


Para la región del Piedemonte o Cuenca del Río Caquetá, las temperaturas más altas para los tres años tuvieron lugar en el mes de septiembre, con picos de 28 a 29 grados centígrados (°C). La temperatura más baja fue en el mes de junio en los años 2010 y 2015 y en el mes de julio del año 2019, llegando a 24 °C.

Precipitación de la región del Piedemonte o Cuenca del Río Caquetá

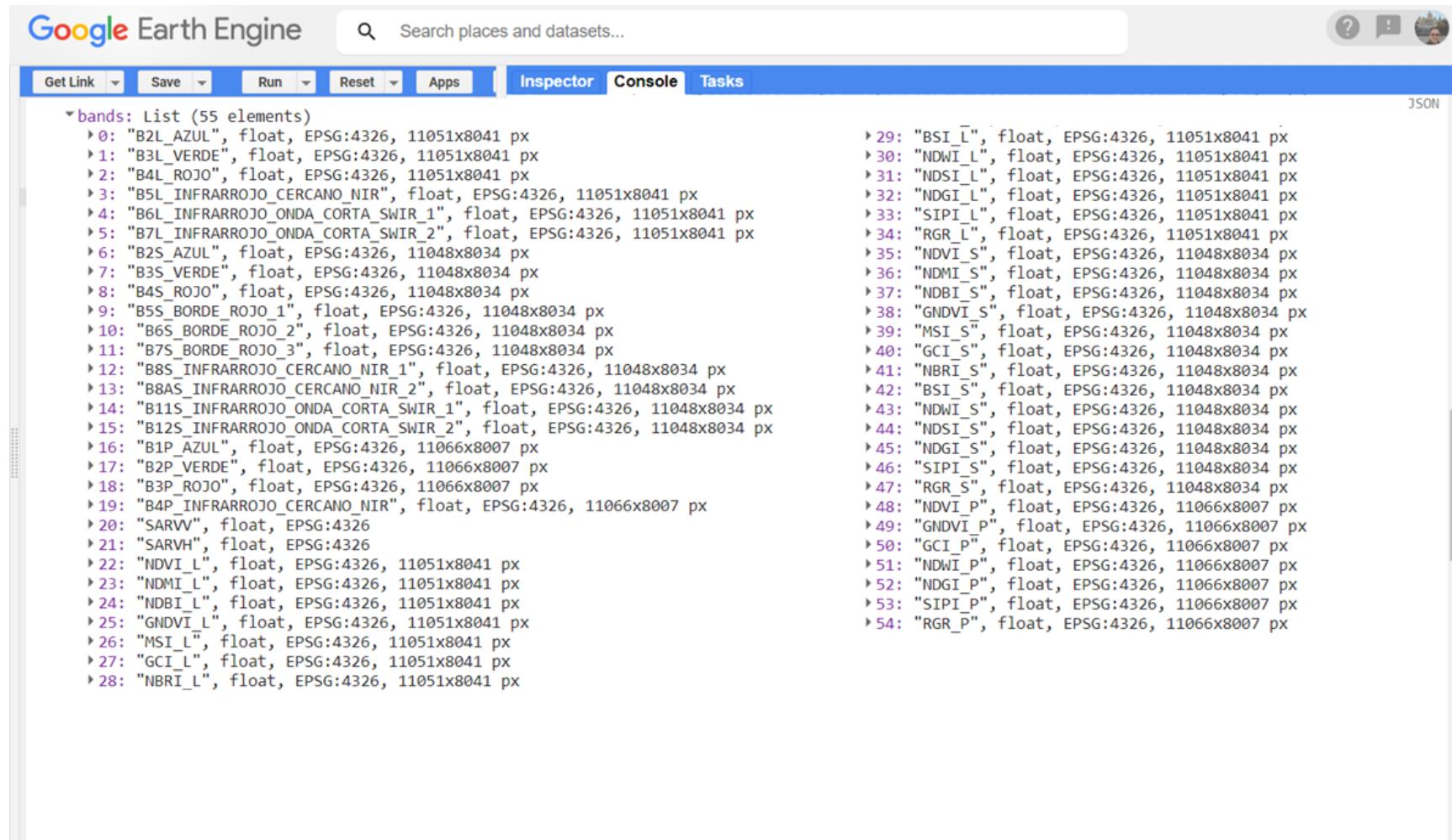
MOCOA	2010	2015	2019
ENERO	44,10	353,70	274,10
FEBRERO	239,40	274,20	175,00
MARZO	313,40	357,50	472,50
ABRIL	362,30	311,70	344,80
MAYO	319,70	425,60	523,90
JUNIO	472,10	509,70	572,40
JULIO	305,90	438,50	526,90
AGOSTO	271,80	250,20	263,80
SEPTIEMBRE	153,10	142,30	254,70
OCTUBRE	239,10	185,50	232,10
NOVIEMBRE	105,60	250,90	280,60
DICIEMBRE	174,40	105,30	490,50

Comparación precipitación acumulada 2010 – 2015 - 2019 en la región del Piedemonte o Cuenca del Río Caquetá



El mes de mayor precipitación coincidió para los tres años y fue junio con valores de 472, 510 y 572 mm/mes respectivamente. El mes de menor precipitación fue enero para el 2010 con 44 mm/mes, diciembre para el 2015 con 105 mm/mes y febrero para el 2019 con 175 mm/mes.

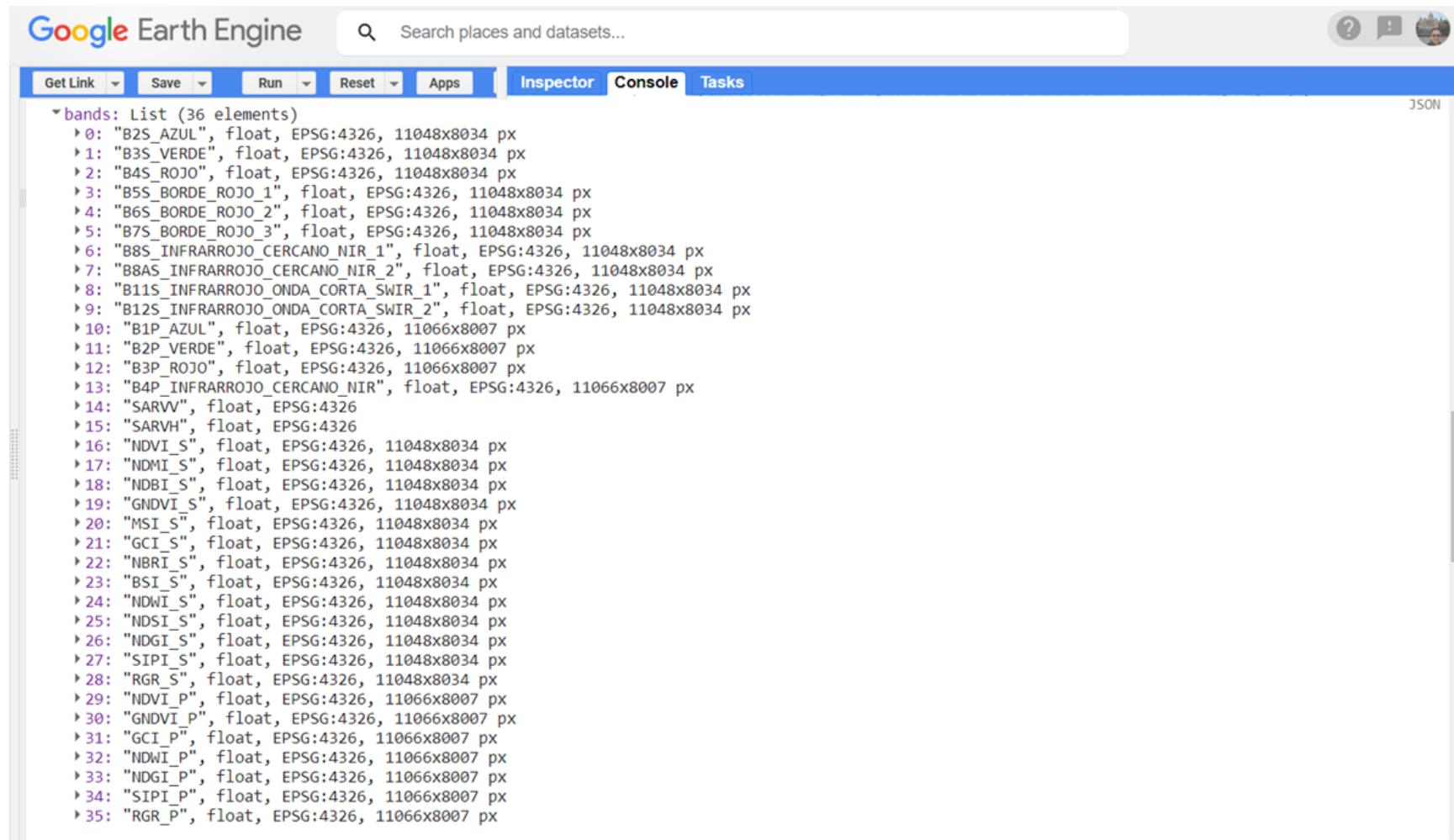
Anexo 4: Lista de variables de entrada de la clasificación 1: 55 (Landsat-8, Sentinel-2, PlanetScope, Sentinel-1 + Índices Espectrales)



The screenshot shows the Google Earth Engine (GEE) interface with the 'Console' tab selected. The console displays a JSON object representing a list of 55 bands. The object has a single key, 'bands', which is a list of 55 elements. Each element is a string representing a band name, followed by its type (float), coordinate reference system (EPSG:4326), and resolution (11051x8041 px). The bands are listed in two columns:

Index	Band Name	Type	EPSG	Resolution
0	"B2L_AZUL"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
1	"B3L_VERDE"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
2	"B4L_ROJO"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
3	"B5L_INFRARROJO_CERCANO_NIR"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
4	"B6L_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_1"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
5	"B7L_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_2"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
6	"B2S_AZUL"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
7	"B3S_VERDE"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
8	"B4S_ROJO"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
9	"B5S_BORDE_ROJO_1"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
10	"B6S_BORDE_ROJO_2"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
11	"B7S_BORDE_ROJO_3"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
12	"B8S_INFRARROJO_CERCANO_NIR_1"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
13	"B8AS_INFRARROJO_CERCANO_NIR_2"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
14	"B11S_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_1"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
15	"B12S_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_2"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
16	"B1P_AZUL"	float	EPSG:4326	11066x8007 px
17	"B2P_VERDE"	float	EPSG:4326	11066x8007 px
18	"B3P_ROJO"	float	EPSG:4326	11066x8007 px
19	"B4P_INFRARROJO_CERCANO_NIR"	float	EPSG:4326	11066x8007 px
20	"SARV"	float	EPSG:4326	
21	"SARVH"	float	EPSG:4326	
22	"NDVI_L"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
23	"NDMI_L"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
24	"NDBI_L"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
25	"GNDVI_L"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
26	"MSI_L"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
27	"GCI_L"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
28	"NBRI_L"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
29	"BSI_L"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
30	"NDWI_L"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
31	"NDSI_L"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
32	"NDGI_L"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
33	"SIPPI_L"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
34	"RGR_L"	float	EPSG:4326	11051x8041 px
35	"NDVI_S"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
36	"NDMI_S"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
37	"NDBI_S"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
38	"GNDVI_S"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
39	"MSI_S"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
40	"GCI_S"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
41	"NBRI_S"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
42	"BSI_S"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
43	"NDWI_S"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
44	"NDSI_S"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
45	"NDGI_S"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
46	"SIPPI_S"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
47	"RGR_S"	float	EPSG:4326	11048x8034 px
48	"NDVI_P"	float	EPSG:4326	11066x8007 px
49	"GNDVI_P"	float	EPSG:4326	11066x8007 px
50	"GCI_P"	float	EPSG:4326	11066x8007 px
51	"NDWI_P"	float	EPSG:4326	11066x8007 px
52	"NDBI_P"	float	EPSG:4326	11066x8007 px
53	"MSI_P"	float	EPSG:4326	11066x8007 px
54	"RGR_P"	float	EPSG:4326	11066x8007 px

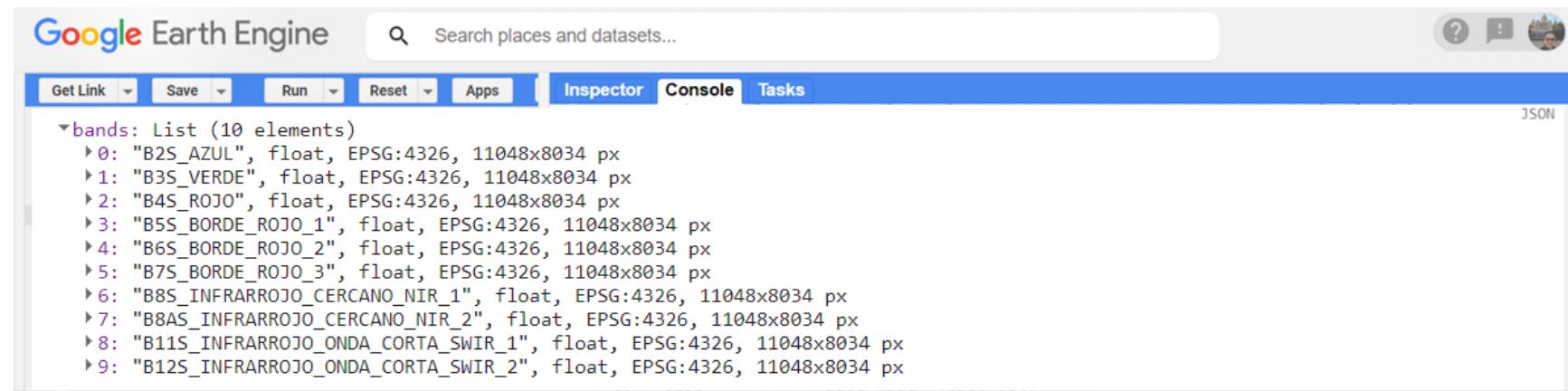
Anexo 5: Lista de variables de entrada de la clasificación 2: 36 (Sentinel-2, PlanetScope, Sentinel-1 + Índices Espectrales)



The screenshot shows the Google Earth Engine interface with the 'Inspector' tab selected. A search bar at the top contains the placeholder 'Search places and datasets...'. Below the tabs, a JSON panel displays a list of 36 elements under the 'bands' key. Each element is a tuple with a name, type, and dimensions. The names include various spectral bands and indices such as B2S_AZUL, B3S_VERDE, B4S_ROJO, B5S_BORDE_ROJO_1, B6S_BORDE_ROJO_2, B7S_BORDE_ROJO_3, B8S_INFRARROJO_CERCANO_NIR_1, B8AS_INFRARROJO_CERCANO_NIR_2, B11S_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_1, B12S_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_2, B1P_AZUL, B2P_VERDE, B3P_ROJO, B4P_INFRARROJO_CERCANO_NIR, SARVV, SARVH, NDVI_S, NDMI_S, NDBI_S, GNDVI_S, MSI_S, GCI_S, NBRI_S, BSI_S, NDWI_S, NDSI_S, NDGI_S, SIPI_S, RGR_S, NDVI_P, GNDVI_P, GCI_P, NDWI_P, NDGI_P, SIPI_P, and RGR_P.

```
bands: List (36 elements)
  0: "B2S_AZUL", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  1: "B3S_VERDE", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  2: "B4S_ROJO", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  3: "B5S_BORDE_ROJO_1", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  4: "B6S_BORDE_ROJO_2", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  5: "B7S_BORDE_ROJO_3", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  6: "B8S_INFRARROJO_CERCANO_NIR_1", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  7: "B8AS_INFRARROJO_CERCANO_NIR_2", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  8: "B11S_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_1", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  9: "B12S_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_2", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  10: "B1P_AZUL", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  11: "B2P_VERDE", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  12: "B3P_ROJO", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  13: "B4P_INFRARROJO_CERCANO_NIR", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  14: "SARVV", float, EPSG:4326
  15: "SARVH", float, EPSG:4326
  16: "NDVI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  17: "NDMI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  18: "NDBI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  19: "GNDVI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  20: "MSI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  21: "GCI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  22: "NBRI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  23: "BSI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  24: "NDWI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  25: "NDSI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  26: "NDGI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  27: "SIPI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  28: "RGR_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  29: "NDVI_P", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  30: "GNDVI_P", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  31: "GCI_P", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  32: "NDWI_P", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  33: "NDGI_P", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  34: "SIPI_P", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  35: "RGR_P", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
```

Anexo 6: Lista de variables de entrada de la clasificación 3: 10 (Sentinel-2 solo Bandas Espectrales)



The screenshot shows the Google Earth Engine interface with the 'Inspector' tab selected. A search bar at the top right contains the placeholder 'Search places and datasets...'. Below the tabs, a JSON panel displays a list of 10 spectral bands:

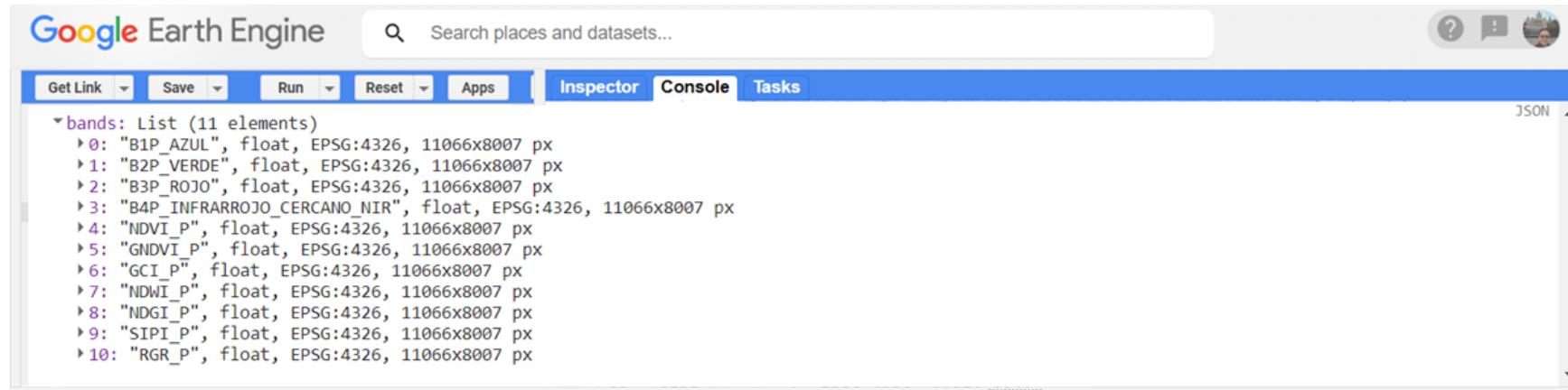
```
bands: List (10 elements)
  0: "B2S_AZUL", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  1: "B3S_VERDE", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  2: "B4S_ROJO", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  3: "B5S_BORDE_ROJO_1", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  4: "B6S_BORDE_ROJO_2", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  5: "B7S_BORDE_ROJO_3", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  6: "B8S_INFRARROJO_CERCANO_NIR_1", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  7: "B8AS_INFRARROJO_CERCANO_NIR_2", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  8: "B11S_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_1", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  9: "B12S_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_2", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
```

Anexo 7: Lista de variables de entrada de la clasificación 4: 19 (Landsat-8 + Índices Espectrales)

The screenshot shows the Google Earth Engine interface with the 'Inspector' tab selected. A search bar at the top contains the placeholder 'Search places and datasets...'. Below the tabs, a JSON panel displays a list of bands and indices:

```
bands: List (19 elements)
  0: "B2L_AZUL", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  1: "B3L_VERDE", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  2: "B4L_ROJO", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  3: "B5L_INFRARROJO_CERCANO_NIR", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  4: "B6L_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_1", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  5: "B7L_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_2", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  6: "NDVI_L", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  7: "NDMI_L", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  8: "NDBI_L", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  9: "GNDVI_L", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  10: "MSI_L", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  11: "GCI_L", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  12: "NBRI_L", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  13: "BSI_L", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  14: "NDWI_L", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  15: "NDSI_L", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  16: "NDGI_L", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  17: "SIPIL_L", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
  18: "RGR_L", float, EPSG:4326, 11051x8041 px
```

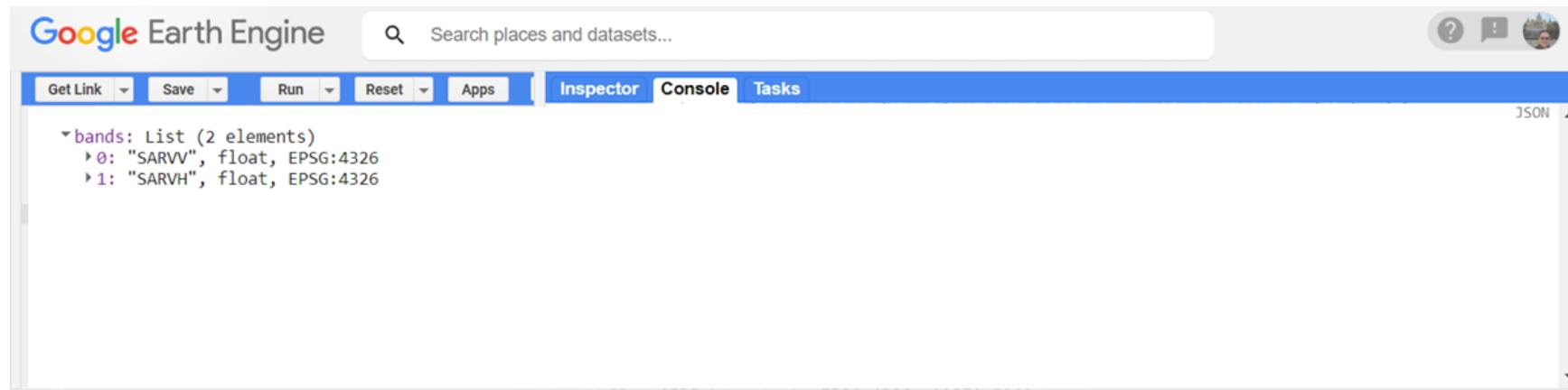
Anexo 8: Lista de variables de entrada de la clasificación 5: 11 (PlanetScope + Índices Espectrales)



The screenshot shows the Google Earth Engine interface with the 'Inspector' tab selected. The JSON pane displays a list of 11 bands:

```
bands: List (11 elements)
  0: "B1P_AZUL", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  1: "B2P_VERDE", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  2: "B3P_ROJO", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  3: "B4P_INFRARROJO_CERCANO_NIR", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  4: "NDVI_P", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  5: "GNDVI_P", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  6: "GCI_P", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  7: "NDWI_P", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  8: "NDGI_P", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  9: "SIPPI_P", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
  10: "RGR_P", float, EPSG:4326, 11066x8007 px
```

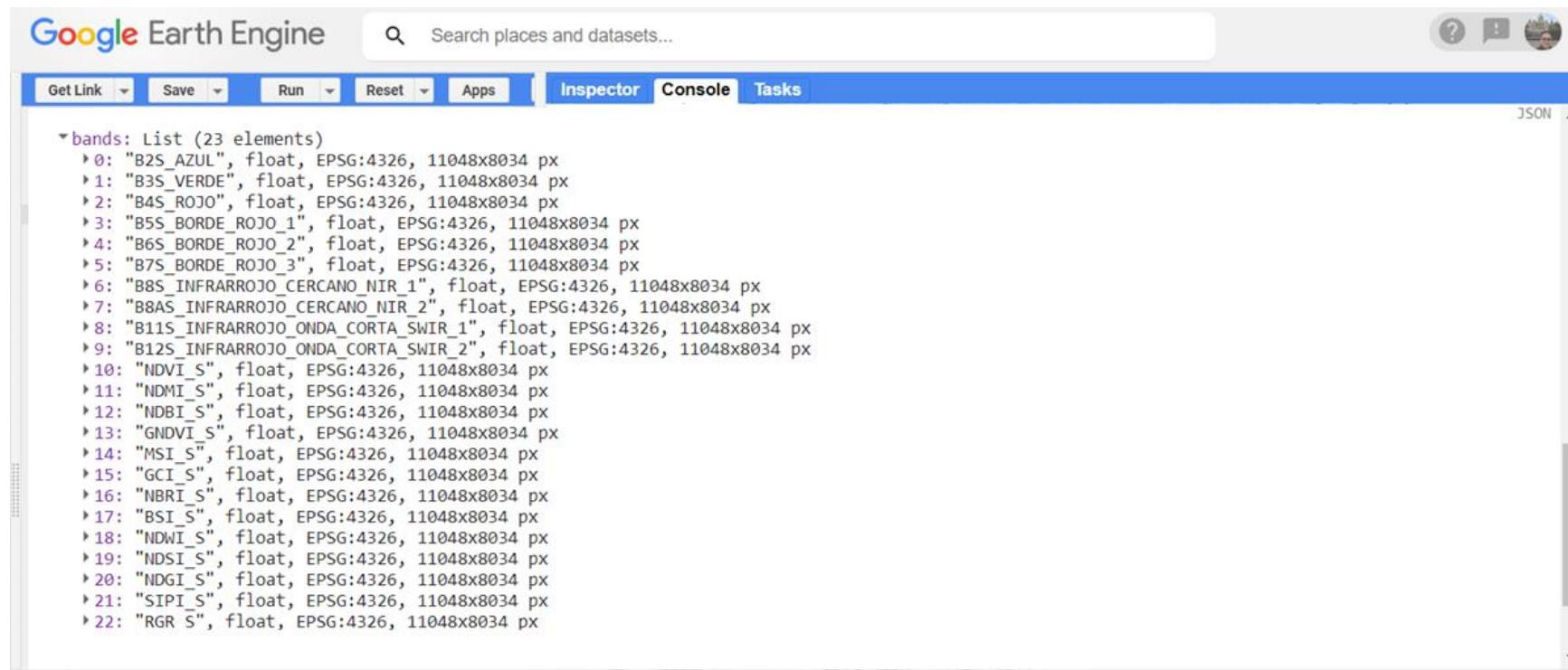
Anexo 9: Lista de variables de entrada de la clasificación 6: 2 (Sentinel-1: VV, VH)



The screenshot shows the Google Earth Engine interface with the 'Inspector' tab selected. The JSON pane displays a list of 2 bands:

```
bands: List (2 elements)
  0: "SARVV", float, EPSG:4326
  1: "SARVH", float, EPSG:4326
```

Anexo 10: Lista de variables de entrada de la clasificación 7: 23 (Sentinel-2 + Índices Espectrales)



The screenshot shows the Google Earth Engine interface with the 'Inspector' tab selected. A search bar at the top contains the placeholder 'Search places and datasets...'. Below the tabs, there is a JSON panel displaying a list of bands. The list starts with a collapsed section 'bands: List (23 elements)' followed by 23 individual entries, each representing a band with its name, type, and spatial resolution.

```
bands: List (23 elements)
  0: "B2S_AZUL", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  1: "B3S_VERDE", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  2: "B4S_ROJO", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  3: "B5S_BORDE_ROJO_1", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  4: "B6S_BORDE_ROJO_2", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  5: "B7S_BORDE_ROJO_3", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  6: "B8S_INFRARROJO_CERCANO_NIR_1", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  7: "B8AS_INFRARROJO_CERCANO_NIR_2", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  8: "B11S_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_1", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  9: "B12S_INFRARROJO_ONDA_CORTA_SWIR_2", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  10: "NDVI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  11: "NDMI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  12: "NDBI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  13: "GNDVI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  14: "MSI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  15: "GCI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  16: "NBRI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  17: "BSI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  18: "NDWI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  19: "NDSI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  20: "NDGI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  21: "SIPSI_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
  22: "RGR_S", float, EPSG:4326, 11048x8034 px
```

Anexo 11: Tabla del índice de Fragmentación 2010 Área de Estudio

ID_2_KM	PS	PSC	CS	IF	IFN	CATEGORÍA
1	62	62	1	4,13	0,10	MODERADA
2	63	63	1	4,06	0,05	POCA
3	47	47	1	5,45	1,17	FUERTE
4	55	55	1	4,65	0,53	MODERADA
5	46	44	2	10,65	5,36	FUERTE
6	34	32	2	14,17	8,20	FUERTE
7	62	62	1	4,13	0,10	MODERADA
8	55	55	1	4,65	0,53	MODERADA
9	61	61	1	4,20	0,16	MODERADA
10	60	60	1	4,27	0,22	MODERADA
11	62	62	1	4,13	0,10	MODERADA
12	55	55	1	4,65	0,53	MODERADA
13	45	43	3	16,31	9,93	FUERTE
14	37	28	3	15,71	9,44	FUERTE
15	53	52	2	9,48	4,42	FUERTE
16	61	61	1	4,20	0,16	MODERADA
17	64	64	1	4,00	0,00	MINIMA
18	64	64	1	4,00	0,00	MINIMA
19	59	59	1	4,34	0,27	MODERADA
20	50	49	2	10,04	4,87	FUERTE
21	44	41	2	10,84	5,52	FUERTE
22	49	47	2	10,02	4,86	FUERTE
23	59	59	1	4,34	0,27	MODERADA
24	51	51	1	5,02	0,82	MODERADA
25	63	63	1	4,06	0,05	POCA
26	64	64	1	4,00	0,00	MINIMA
27	40	34	4	21,76	14,32	EXTREMA
28	59	58	2	8,53	3,65	FUERTE
29	63	63	1	4,06	0,05	POCA
30	58	58	1	4,41	0,33	MODERADA
31	44	43	2	11,37	5,95	FUERTE
32	51	51	1	5,02	0,82	MODERADA
33	54	54	1	4,74	0,60	MODERADA
34	60	60	1	4,27	0,22	MODERADA
35	44	43	2	11,37	5,95	FUERTE
36	56	56	1	4,57	0,46	MODERADA
37	42	41	2	11,90	6,37	FUERTE
38	30	30	1	8,53	3,66	FUERTE
39	44	43	2	11,37	5,95	FUERTE
40	60	60	1	4,27	0,22	MODERADA
41	59	59	1	4,34	0,27	MODERADA
42	60	60	1	4,27	0,22	MODERADA
43	52	50	3	14,20	8,23	FUERTE

ID_2_KM	PS	PSC	CS	IF	IFN	CATEGORÍA
44	26	24	4	36,36	26,09	EXTREMA
45	41	37	4	22,54	14,95	EXTREMA
46	34	30	3	19,93	12,85	EXTREMA
47	49	49	1	5,22	0,99	MODERADA
48	59	59	1	4,34	0,27	MODERADA
49	63	63	1	4,06	0,05	POCA
50	54	54	1	4,74	0,60	MODERADA
51	45	45	2	11,38	5,95	FUERTE
52	58	54	2	8,22	3,40	FUERTE
53	53	53	1	4,83	0,67	MODERADA
54	46	45	2	10,89	5,56	FUERTE
55	7	5	2	52,24	38,91	EXTREMA
56	58	58	1	4,41	0,33	MODERADA
57	46	44	2	10,65	5,36	FUERTE
58	13	6	3	27,27	18,76	EXTREMA
59	49	48	2	10,24	5,03	FUERTE
60	34	31	3	20,60	13,38	EXTREMA
61	37	37	1	6,92	2,35	FUERTE
62	43	40	2	11,08	5,71	FUERTE
63	43	40	3	16,61	10,17	EXTREMA
64	54	54	1	4,74	0,60	MODERADA
65	44	42	3	16,66	10,21	EXTREMA
66	57	57	1	4,49	0,40	MODERADA
67	27	18	3	18,96	12,07	EXTREMA
68	20	6	9	34,56	24,65	EXTREMA
69	25	17	5	34,82	24,85	EXTREMA
70	24	21	4	37,33	26,88	EXTREMA
71	30	22	3	18,77	11,91	EXTREMA
72	58	58	1	4,41	0,33	MODERADA
73	36	15	3	8,89	3,94	FUERTE
74	11	5	5	52,89	39,43	EXTREMA
75	16	14	3	42,00	30,65	EXTREMA
76	5	1	5	51,20	38,06	EXTREMA
77	4	3	2	96,00	74,19	EXTREMA
78	6	3	4	85,33	65,59	EXTREMA
79	9	2	7	44,25	32,46	EXTREMA
80	8	4	3	48,00	35,48	EXTREMA
81	13	4	7	42,41	30,98	EXTREMA
82	33	30	3	21,16	13,84	EXTREMA
83	29	23	4	28,00	19,36	EXTREMA
84	42	41	2	11,90	6,37	FUERTE
85	57	57	1	4,49	0,40	MODERADA
86	62	62	1	4,13	0,10	MODERADA
87	51	50	2	9,84	4,71	FUERTE
88	18	17	2	26,86	18,44	EXTREMA

ID_2_KM	PS	PSC	CS	IF	IFN	CATEGORÍA
89	19	19	1	13,47	7,64	FUERTE
90	10	5	4	51,20	38,06	EXTREMA
91	4	3	2	96,00	74,19	EXTREMA
92	5	2	3	61,44	46,32	EXTREMA
93	6	5	2	71,11	54,12	EXTREMA
94	3	1	3	85,33	65,59	EXTREMA
95	3	2	2	113,78	88,53	EXTREMA
96	6	3	2	42,67	31,18	EXTREMA
97	10	5	5	64,00	48,39	EXTREMA
98	9	4	5	63,21	47,75	EXTREMA
99	35	32	3	20,06	12,95	EXTREMA
100	34	29	2	12,84	7,13	FUERTE
101	50	47	2	9,63	4,54	FUERTE
102	59	59	1	4,34	0,27	MODERADA
103	54	54	1	4,74	0,60	MODERADA
104	5	3	2	61,44	46,32	EXTREMA
105	12	6	6	64,00	48,39	EXTREMA
106	8	4	4	64,00	48,39	EXTREMA
107	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	SIN COBERTURA
108	10	9	2	46,08	33,94	EXTREMA
109	22	8	8	33,85	24,07	EXTREMA
110	6	2	5	71,11	54,12	EXTREMA
111	21	20	2	23,22	15,50	EXTREMA
112	16	13	3	39,00	28,23	EXTREMA
113	10	4	4	40,96	29,81	EXTREMA
114	21	9	5	26,12	17,84	EXTREMA
115	46	44	2	10,65	5,36	FUERTE

Anexo 12: Tabla del índice de Fragmentación 2020

ID_2_KM	PS	PSC	CS	IF	IFN	CATEGORÍA
1	60	60	1	4,27	0,22	MODERADA
2	52	52	1	4,92	0,74	MODERADA
3	47	47	1	5,45	1,17	FUERTE
4	59	59	1	4,34	0,27	MODERADA
5	47	47	1	5,45	1,17	FUERTE
6	29	27	3	24,66	16,66	EXTREMA
7	46	41	3	14,88	8,77	FUERTE
8	54	54	1	4,74	0,60	MODERADA
9	62	62	1	4,13	0,10	MODERADA
10	58	58	1	4,41	0,33	MODERADA
11	64	64	1	4,00	0,00	MINIMA
12	35	35	1	7,31	2,67	FUERTE
13	39	36	3	18,18	11,43	EXTREMA
14	30	22	5	31,29	22,01	EXTREMA
15	42	41	2	11,90	6,37	FUERTE
16	55	55	1	4,65	0,53	MODERADA
17	62	62	1	4,13	0,10	MODERADA
18	59	59	1	4,34	0,27	MODERADA
19	54	54	1	4,74	0,60	MODERADA
20	38	18	5	15,96	9,64	FUERTE
21	31	16	6	25,57	17,40	EXTREMA
22	40	40	1	6,40	1,94	FUERTE
23	22	31	3	49,19	36,44	EXTREMA
24	45	43	2	10,87	5,54	FUERTE
25	58	58	1	4,41	0,33	MODERADA
26	56	56	1	4,57	0,46	MODERADA
27	30	30	1	8,53	3,66	FUERTE
28	63	63	1	4,06	0,05	POCA
29	60	59	2	8,39	3,54	FUERTE
30	41	39	2	11,88	6,35	FUERTE
31	48	48	1	5,33	1,08	FUERTE
32	34	32	2	14,17	8,20	FUERTE
33	42	32	3	13,93	8,01	FUERTE
34	59	59	1	4,34	0,27	MODERADA
35	46	46	1	5,57	1,26	FUERTE
36	44	43	2	11,37	5,95	FUERTE
37	33	19	5	22,33	14,78	EXTREMA
38	34	31	2	13,73	7,85	FUERTE
39	57	57	1	4,49	0,40	MODERADA
40	59	59	1	4,34	0,27	MODERADA
41	53	53	1	4,83	0,67	MODERADA
42	53	53	1	4,83	0,67	MODERADA
43	49	49	1	5,22	0,99	MODERADA

ID_2_KM	PS	PSC	CS	IF	IFN	CATEGORÍA
44	27	17	4	23,88	16,03	EXTREMA
45	40	34	3	16,32	9,94	FUERTE
46	21	11	5	31,93	22,52	EXTREMA
47	46	46	1	5,57	1,26	FUERTE
48	51	50	2	9,84	4,71	FUERTE
49	53	53	1	4,83	0,67	MODERADA
50	48	48	1	5,33	1,08	FUERTE
51	39	39	1	6,56	2,07	FUERTE
52	48	44	3	14,67	8,60	FUERTE
53	49	49	1	5,22	0,99	MODERADA
54	44	43	2	11,37	5,95	FUERTE
55	5	1	5	51,20	38,06	EXTREMA
56	54	54	1	4,74	0,60	MODERADA
57	41	38	2	11,57	6,11	FUERTE
58	21	20	2	23,22	15,50	EXTREMA
59	50	50	1	5,12	0,90	MODERADA
60	44	39	2	10,31	5,09	FUERTE
61	38	38	1	6,74	2,21	FUERTE
62	35	32	2	13,37	7,56	FUERTE
63	44	42	3	16,66	10,21	EXTREMA
64	55	55	1	4,65	0,53	MODERADA
65	51	51	1	5,02	0,82	MODERADA
66	56	56	1	4,57	0,46	MODERADA
67	36	32	3	18,96	12,07	EXTREMA
68	32	19	5	23,75	15,93	EXTREMA
69	22	14	7	51,83	38,58	EXTREMA
70	21	20	2	23,22	15,50	EXTREMA
71	39	38	2	12,79	7,09	FUERTE
72	51	49	3	14,47	8,44	FUERTE
73	33	11	4	10,34	5,12	FUERTE
74	25	17	4	27,85	19,24	EXTREMA
75	23	20	2	19,36	12,38	EXTREMA
76	14	7	5	45,71	33,64	EXTREMA
77	7	2	4	41,80	30,48	EXTREMA
78	6	3	2	42,67	31,18	EXTREMA
79	10	6	4	61,44	46,32	EXTREMA
80	11	5	5	52,89	39,43	EXTREMA
81	21	14	3	24,38	16,44	EXTREMA
82	44	44	1	5,82	1,47	FUERTE
83	33	33	1	7,76	3,03	FUERTE
84	44	41	3	16,26	9,89	FUERTE
85	56	56	1	4,57	0,46	MODERADA
86	61	61	1	4,20	0,16	MODERADA
87	46	46	1	5,57	1,26	FUERTE
88	16	15	2	30,00	20,97	EXTREMA

ID_2_KM	PS	PSC	CS	IF	IFN	CATEGORÍA
89	15	15	1	17,07	10,54	EXTREMA
90	10	6	4	61,44	46,32	EXTREMA
91	3	2	2	113,78	88,53	EXTREMA
92	7	3	4	62,69	47,33	EXTREMA
93	2	1	2	128,00	100,00	EXTREMA
94	2	1	2	128,00	100,00	EXTREMA
95	4	2	3	96,00	74,19	EXTREMA
96	11	5	4	42,31	30,90	EXTREMA
97	7	3	4	62,69	47,33	EXTREMA
98	7	6	2	62,69	47,33	EXTREMA
99	43	42	2	11,63	6,15	FUERTE
100	40	40	1	6,40	1,94	FUERTE
101	49	46	3	14,71	8,64	FUERTE
102	58	58	1	4,41	0,33	MODERADA
103	55	55	1	4,65	0,53	MODERADA
104	11	4	6	50,78	37,72	EXTREMA
105	21	16	6	55,73	41,72	EXTREMA
106	13	10	3	45,44	33,42	EXTREMA
107	3	1	3	85,33	65,59	EXTREMA
108	13	12	2	36,36	26,09	EXTREMA
109	31	29	3	23,18	15,46	EXTREMA
110	18	5	7	27,65	19,08	EXTREMA
111	14	12	2	31,35	22,05	EXTREMA
112	14	11	3	43,10	31,53	EXTREMA
113	10	5	3	38,40	27,74	EXTREMA
114	21	7	5	20,32	13,16	EXTREMA
115	43	40	3	16,61	10,17	EXTREMA

Anexo 13: Lista de preguntas de la encuesta

ID	TEMA	PREGUNTAS ENCUESTAS
A.	Composición básica de los hogares	a. Nombre del encuestado (a) b. Edad (Años) c. Nivel Escolaridad d. Número de Identificación e. Número de contacto f. Género: A 1. ¿Cuántas personas conforman su hogar? A 2. ¿Cuántas personas entre 0-12 años hay en su hogar? A 3. ¿Cuántas personas entre 13-17 años hay en su hogar? A 4. ¿Cuántas personas entre 18-60 años hay en su hogar? A 5. ¿Cuántas personas mayores a 60 años hay en su hogar? A 6. ¿Cuántas personas de género masculino hay en su hogar? A 7. ¿Cuántas personas de género femenino hay en su hogar? A 8a. ¿Los niños de su hogar asisten a la Primaria? A 8b. ¿Los adolescentes de su hogar asisten a la Secundaria? A 8c. ¿Cuántas personas de su familia tienen educación Superior? A 8d. ¿Porque no estudia? A 8e. ¿Dónde trabaja? B 1. Municipio B 2. Vereda _B 3. Coordenadas_latitude _B 3. Coordenadas_longitude _B 3. Coordenadas_altitude _B 3. Coordenadas_precision B 4. Nombre del predio (finca)
C.	Características generales de coberturas y uso del suelo	C 1. Tenencia del Predio: C 2. Área total de su Predio en Hectáreas C 3. ¿Cuál es el área de bosque (aproximado) al día de hoy en su Predio? C 4. ¿Cuál era el área de bosque (aproximado) cuando llegó al Predio? C 5. Topografía del Predio
D.	Trayectorias de Coberturas	D 1. ¿En qué año llegó al Predio? D 2. ¿Cuáles son las coberturas actuales? D 3. ¿Cuáles fueron las coberturas anteriores? D 5. ¿Cuáles prevé que serán las coberturas a futuro? D 5a. Sí, otros usos, escriba por favor cuáles:
E.	Identificación básica de los (las) productor(as) agropecuario(as) y forestales	E 1. ¿Cómo están organizados/as para realizar sus actividades? E 2. A qué tipo de población pertenece: E 3. ¿A qué unidad administrativa pertenece? E 3a. ¿Cuál es el nombre de la unidad administrativa mencionada en la pregunta anterior?
F.	Aspectos organizacionales	F 1. ¿Pertenece a algún tipo de organización de productores? F 1a. Escriba por favor la organización productiva a la cual pertenece: F 2. ¿Ha recibido asistencia técnica o asesorías para las actividades que desarrolla en su ¿Quiénes han brindado la asistencia técnica? F 3. Principalmente, ¿De dónde provienen los recursos económicos para las actividades F 4. ¿En qué le gustaría ser fortalecido teniendo en cuenta la actividad que desempeña? F 4a. Si, otros, Escriba por favor en que le gustaría ser fortalecido: F 5. ¿Razones que considera porque fracasan proyectos de fortalecimiento Agrícolas, F 5a. Si, otro, escriba por favor cuál: F 6. ¿Qué recomendaría a las entidades que financian proyectos para disminuir la F 6a. Si, otro, escriba por favor cuál: F 7. ¿Le gustaría que sus hijos continúen con las actividades económicas que usted F 7a. ¿Por qué? F 7a1. Si, otro, escriba por favor cuál:
G.	Caracterización de causas de transformación del Bosque (Responda con base en su percepción regional)	G 1. Desde su llegada a la región, ¿cuál cree que han sido las actividades que más han G 1a. Si, otra actividad, escriba por favor cuál: G 2. ¿Cuáles son las motivaciones para su realización? G 3. ¿Qué sabe acerca de la deforestación? G 4. ¿Estaría dispuesto a sembrar cultivos forestales o agrícolas en áreas de pastos, si G 5. ¿Recolectaría renuevos (regeneración natural) y resembraría en el rastrojo y/o sitios
H.	Aprovechamiento del Bosque Natural	H 1. ¿Usted realiza Aprovechamiento del Bosque Natural?

Id	TEMA	PREGUNTAS ENCUESTAS
		H 2. ¿Con qué periodicidad realiza el aprovechamiento del Bosque Natural? H 3. ¿Dónde realiza el aprovechamiento del Bosque Natural? H 4a. Consumo doméstico y Productivo (%) H 4b. Venta (%) H 5. ¿Quién realiza la actividad? H 6. La forma de aprovechamiento del bosque natural es de tipo: H 6a. ¿Cuáles maquinarias utiliza? H 7. ¿Qué medios de transporte utiliza para sacar el producto? H 7a. Si, otro medio de transporte escriba por favor cuál: H 8a. Productos H 8a1. Si, otro, escriba por favor cuál: H 8b. Escriba por favor las dimensiones (cm, pulgadas, metros, etc.) H 8c. Describa que especies son y porque las aprovecha H 9a. La venta la hace bajo pedido H 9a1. Existe pago anticipado H 9b. ¿A quién vende? H 9c. ¿Qué porcentaje de sus ingresos representa el aprovechamiento del bosque natural? H 10. De su bosque ¿hay especies de árboles que no se tumba? H 10a. Escriba por favor que especies de árboles no se tumba y porque: H 11. ¿Por qué se dedica a la actividad de aprovechamiento del bosque natural? H 11a. Si, otras motivaciones, escriba por favor cuáles: H 12. ¿Alguna vez ha tramitado un permiso de aprovechamiento forestal?
I.	Caracterización de las actividades pecuarias	I 1. Actualmente, ¿tiene ganado bovino? I 2. ¿Ha tenido ganado bovino durante los últimos 12 meses? I 3. ¿Cuántos animales tiene actualmente? I 3a. Sí, sabe la cantidad exacta, escriba por favor cuál: I 4. ¿Cuáles son las razas o cruces que maneja? I 4a. Sí, es otra raza, escriba por favor cuál: I 5. La actividad ganadera del Predio se orienta a la producción de: I 5a. Sí, es otro, escriba por favor cuál: I 6. Para la producción de Leche Bovina ¿Dónde ordeñan el ganado? I 7. Para la producción de Leche Bovina ¿Cómo ordeñan el ganado? I 8. Actualmente, ¿Tiene cerdos, aves u otras especies animales en su Predio para venta o I 9a. Productos I 9a1. Sí, son productos transformados, carne, animales u otros, escriba por favor cuáles: I 9b. ¿A quién le vende? I 9c. ¿En qué lugar hace la venta? I 10. ¿Qué medios de transporte utiliza para sacar los productos? I 10a. Si, otro, escriba por favor cuál: I 11. Infraestructura y Maquinaria que posee para la actividad pecuaria I 11a. Si, otra maquinaria o infraestructura, escriba por favor cuál: I 14. ¿Qué área, en hectáreas, de bosque ha necesitado para establecer la actividad I 15. ¿Por qué se dedica a la actividad PECUARIA? I 15a. Si, otras motivaciones, escriba por favor cuáles: I 16. ¿Le gustaría aplicar ganadería semiestabulado y mejorar las pasturas existentes si
J.	Caracterización de las actividades productivas agrícolas	J 1. ¿En este Predio se realiza algún tipo de actividad agrícola? J 2a. Nombre los tres cultivos principales J 2b. Área sembrada (Ha) J 2c. ¿Hace cuánto tiempo se dedica a estos cultivos (años)? J 2d. ¿Qué cultivos o actividades desarrolló antes? J 2f. ¿A quién vende? J 2g. ¿En qué lugar hace la venta? J 2h. ¿Qué medios de transporte utiliza para sacar los productos? J 2h1. Si, otro, escriba por favor cuál: J 3. Relacione la maquinaria que utiliza para realizar las actividades agrícolas (Motosierra, J 4. Relacione la infraestructura que tiene para las actividades agrícolas J 4a. Si, otro, escriba por favor cuál: J 7. ¿Qué área, en hectáreas, de bosque ha necesitado para establecer las actividades J 8. ¿Por qué se dedica a la actividad AGRÍCOLA? J 8a. Si, otras motivaciones, escriba por favor cuáles: L 1. ¿Qué productos no maderables aprovecha principalmente de los bosques naturales? L 1b. ¿Cuáles y que uso le da? L 2. ¿El bosque es importante para usted? L 2a. ¿Por qué? L 2a1. Si, otro, escriba por favor cuál:

Anexo 14: Capturas de KoboToolbox del cuestionario de la encuesta

The screenshot shows the KoboToolbox interface for a survey project titled "CARACTERIZACIÓN DE CAUSAS Y AGENTES TRANSFORMACIÓN DEL BOSQUE V3". The interface includes a header with "GUARDAR" and "X" buttons, and toolbars for search, refresh, and export.

The main content area displays the following sections:

- Nombre del encuestador (a)**: A dropdown menu with "Sugerencia de pregunta" and two options: "Oscar Hernando Eraso Terán" (Valor XML: `oscar_hernando_eraso_te`) and "Otro (a)" (Valor XML: `otro_a`). A note "+ Hacer clic para agregar otra respuesta..." is present.
- abc**: A section with the instruction "* Si, otro encuestador (a), por favor escriba su nombre:" and "Sugerencia de pregunta".
- Datos básicos del encuestado(a)**: A collapsed section.
- A. Composición básica de los hogares**: A collapsed section.
- B. Identificación de la unidad productiva**: A collapsed section.

Datos básicos del encuestado(a)

The screenshot shows the KoboToolbox interface for the same survey project, focusing on the "Datos básicos del encuestado(a)" section.

The expanded section contains three items:

- a. Nombre del encuestado (a)**: A dropdown menu with "Sugerencia de pregunta".
- b. Edad (Años)**: A dropdown menu with "Sugerencia de pregunta".
- c. Nivel Escolaridad**: A dropdown menu with "Sugerencia de pregunta" and five options: "Primaria" (Valor XML: `primaria`), "Secundaria" (Valor XML: `secundaria`), "Técnico" (Valor XML: `tecnica`), "Superior" (Valor XML: `superior`), and "Ninguno" (Valor XML: `ninguno`). A note "+ Hacer clic para agregar otra respuesta..." is present.

A. Composición básica de los hogares

proyecto
CARACTERIZACIÓN DE CAUSAS Y AGENTES TRANSFORMACIÓN DEL BOSQUE V3

GUARDAR X

Agregar desde la biblioteca Diseño y configuración

▼ A. Composición básica de los hogares

123	A 1. ¿Cuántas personas conforman su hogar? <i>Sugerencia de pregunta</i>	⋮
123	A 2. ¿Cuántas personas entre 0-12 años hay en su hogar? (Niños)	⋮
123	A 3. ¿Cuántas personas entre 13-17 años hay en su hogar? (Adolescentes)	⋮
123	A 4. ¿Cuántas personas entre 18-60 años hay en su hogar? <i>Sugerencia de pregunta</i>	⋮
123	A 5. ¿Cuántas personas mayores a 60 años hay en su hogar? (Mayores)	⋮
123	A 6. ¿Cuántas personas de género masculino hay en su hogar? <i>Sugerencia de pregunta</i>	⋮

B. Identificación de la unidad productiva

proyecto
CARACTERIZACIÓN DE CAUSAS Y AGENTES TRANSFORMACIÓN DEL BOSQUE V3

GUARDAR X

Agregar desde la biblioteca Diseño y configuración

▼ B. Identificación de la unidad productiva

●	▼ B 1. Municipio <i>Sugerencia de pregunta</i>	⋮
Puerto Guzmán		Valor XML: <code>puerto_guzmán</code>
+ Hacer clic para agregar otra respuesta...		Valor XML: AUTOMÁTICO
●	▼ B 2. Vereda <i>Sugerencia de pregunta</i>	⋮
ALPAMANGA		Valor XML: <code>alpamanga</code>
BUENA ESPERANZA		Valor XML: <code>buena Esperanza</code>
BUENOS AIRES DEL MANDUR		Valor XML: <code>buenos_aires_del_mandur</code>
CABECERA MUNICIPAL PUERTO GUZMÁN		Valor XML: <code>cabeecera_municipal_pue</code>
CASCO URBANO		Valor XML: <code>casco_urbando</code>
CERRO GUADUA		Valor XML: <code>cerro_guadua</code>

C. Características generales de coberturas y uso del suelo

projecto
CARACTERIZACIÓN DE CAUSAS Y AGENTES TRANSFORMACIÓN DEL BOSQUE V3

GUARDAR

Diseño y configuración

C. Características generales de coberturas y uso del suelo

C 1. Tenencia del Predio:
Sugerencia de pregunta

- Propietarios(as) individuales Valor XML: `propietarios_as_individual`
- Propietarios(as) colectivos (as) Valor XML: `propietarios_as_colectivo`
- Aparceleros(as) (utilidades a medias con el dueño del predio) Valor XML: `aparceleros_as_utilidad`
- Arrendatarios(as) Valor XML: `arrendatarios_as`
- Otra forma de tenencia Valor XML: `otra_forma_de_tenencia`

+ Hacer clic para agregar otra respuesta...

C 1a. Si, otra forma de tenencia, escriba por favor cual es:
Sugerencia de pregunta

C 2. Área total de su Predio en Hectáreas
Sugerencia de pregunta

Registro Fotográfico

projecto
CARACTERIZACIÓN DE CAUSAS Y AGENTES TRANSFORMACIÓN DEL BOSQUE V3

GUARDAR

Diseño y configuración

Registro Fotográfico

- Registro Fotográfico 1 Predio**
Sugerencia de pregunta
- Registro Fotográfico 2 Predio**
Sugerencia de pregunta
- Registro Fotográfico Encuestados Predio**
Sugerencia de pregunta

D. Trayectorias de Coberturas

E. Identificación básica de los (las) productor(as) agropecuario(as) y forestales

F. Aspectos organizacionales

D. Trayectorias de Coberturas

proyecto
CARACTERIZACIÓN DE CAUSAS Y AGENTES TRANSFORMACIÓN DEL BOSQUE V3

D. Trayectorias de Coberturas

D 1. ¿En qué año llegó al Predio?
Sugerencia de pregunta

D 2. ¿Cuáles son las coberturas actuales?
Sugerencia de pregunta

- Cultivos Permanentes Valor XML: `cultivos_permanentes`
- Cultivos Transitorios Valor XML: `cultivos_transitorios`
- Plantaciones Forestales Valor XML: `plantaciones_forestales`
- Pastos Naturales Valor XML: `pastos_naturales`
- Pastos Sembrados Valor XML: `pastos_sembrados`
- Bosques Naturales Valor XML: `bosques_naturales`
- Vegetación Secundaria Valor XML: `vegetacion_secundaria`
- Explotación de Minerales Valor XML: `explotacion_de_minerales`

E. Identificación básica de los (las) productor(as) agropecuario(as) y forestales

proyecto
CARACTERIZACIÓN DE CAUSAS Y AGENTES TRANSFORMACIÓN DEL BOSQUE V3

E. Identificación básica de los (las) productor(as) agropecuario(as) y forestales

E 1. ¿Cómo están organizados/as para realizar sus actividades?
Sugerencia de pregunta

- Persona natural Valor XML: `persona_natural`
- Persona jurídica Valor XML: `persona_juridica`
- Mixto (Persona natural y jurídica) Valor XML: `mixto_persona_natural`

+ Hacer clic para agregar otra respuesta... Valor XML: AUTOMÁTICO

E 2. A qué tipo de población pertenece:
Sugerencia de pregunta

- Indígena Valor XML: `indigena`
- Afrocolombiano(a) Valor XML: `afrocolombiano_a`
- Campesino(a) Valor XML: `campesino_a`
- Colono Valor XML: `colono`

F. Aspectos organizacionales

proyecto
CARACTERIZACIÓN DE CAUSAS Y AGENTES TRANSFORMACIÓN DEL BOSQUE V3

GUARDAR **X**

Agregar desde la biblioteca **Diseño y configuración**

F. Aspectos organizacionales

F 1. ¿Pertenece a algún tipo de organización de productores?
(Asociaciones, Cooperativas, etc.)

Si (¿Cuál?) **Valor XML:** `si_cual` **No** **Valor XML:** `no` **+ Hacer clic para agregar otra respuesta...** **Valor XML:** `AUTOMÁTICO`

F 1a. Escriba por favor la organización productiva a la cual pertenece:
(Asociaciones, Cooperativas, etc.)

F 2. ¿Ha recibido asistencia técnica o asesorías para las actividades que desarolla en su Predio?
Sugerencia de pregunta

Si **Valor XML:** `si` **No** **Valor XML:** `no` **+ Hacer clic para agregar otra respuesta...** **Valor XML:** `AUTOMÁTICO`

G. Caracterización de causas de transformación del Bosque (Responda con base en su percepción regional)

proyecto
CARACTERIZACIÓN DE CAUSAS Y AGENTES TRANSFORMACIÓN DEL BOSQUE V3

GUARDAR **X**

Agregar desde la biblioteca **Diseño y configuración**

G. Caracterización de causas de transformación del Bosque (Responda con base en su percepción regional)

G 1. Desde su llegada a la región, ¿cuál cree que han sido las actividades que más han causado pérdida de bosque?
Sugerencia de pregunta

Pastos para Ganadería **Valor XML:** `pastos_para_ganaderia` **Minería** **Valor XML:** `mineria` **Aprovechamiento forestal** **Valor XML:** `aprovechamiento_foresta` **Cultivos Agrícolas o Forestales** **Valor XML:** `cultivos_agr_colas_o_for` **Pastos con otro fin** **Valor XML:** `pastos_con_otro_fin` **Otro** **Valor XML:** `otro` **No sabe** **Valor XML:** `no_sabe` **+ Hacer clic para agregar otra respuesta...** **Valor XML:** `AUTOMÁTICO`

G 1a. Si, otra actividad, escriba por favor cual:
Sugerencia de pregunta

H. Aprovechamiento del Bosque Natural

proyecto
CARACTERIZACIÓN DE CAUSAS Y AGENTES TRANSFORMACIÓN DEL BOSQUE V3

GUARDAR X

Agregar desde la biblioteca Diseño y configuración

H. Aprovechamiento del Bosque Natural

H 1. ¿Usted realiza Aprovechamiento del Bosque Natural?
Sugerencia de pregunta

Si Valor XML: si
 No (Pase al siguiente modulo) Valor XML: no_pase_al_modojo
+ Hacer clic para agregar otra respuesta...

Si, Módulo de Aprovechamiento del Bosque Natural

H 2. ¿Con que periodicidad realiza el aprovechamiento del Bosque Natural?
Sugerencia de pregunta

Semanal Valor XML: semanal
 Mensual Valor XML: mensual

I. Caracterización de las actividades pecuarias

proyecto
CARACTERIZACIÓN DE CAUSAS Y AGENTES TRANSFORMACIÓN DEL BOSQUE V3

GUARDAR X

Agregar desde la biblioteca Diseño y configuración

I. Caracterización de las actividades pecuarias

I 1. Actualmente, ¿tiene ganado bovino?
Sugerencia de pregunta

Si Valor XML: si
 No Valor XML: no
+ Hacer clic para agregar otra respuesta...

I 2. ¿Ha tenido ganado bovino durante los últimos 12 meses?
Sugerencia de pregunta

Si Valor XML: si
 No Valor XML: no
+ Hacer clic para agregar otra respuesta...

I 3. ¿Cuántos animales tiene actualmente?
(Para el ganado bovino)

J. Caracterización de las actividades productivas agrícolas

The screenshot shows the survey software interface with the following details:

- Project Information:** proyecto CARACTERIZACIÓN DE CAUSAS Y AGENTES TRANSFORMACIÓN DEL BOSQUE V3
- Buttons:** GUARDAR (Save), Agregar desde la biblioteca (Add from library), Diseño y configuración (Design and configuration).
- Section J.1:** Question "J 1. ¿En este Predio se realiza algún tipo de actividad agrícola? (cultivos para autoconsumo, cultivos para la venta o trueque, plantaciones forestales, pastos, sabanas o rastrojos)" with two options:
 - Si (Continue)**: Valor XML: si_continue
 - No (Pase al siguiente modulo)**: Valor XML: no_pase_al_siguiente_modulo
- Section J.2:** Question "J 2. Por favor relacione los tres principales cultivos que tiene actualmente sembrados" with two sub-options:
 - J 2a. Nombre los tres cultivos principales (Ej: Plátano, Yuca, Maíz, Cacao, Chontaduro, Caña, Asaf, Otros)**
 - J 2b. Área sembrada (Ha)**

K. Minería

The screenshot shows the survey software interface with the following details:

- Project Information:** proyecto CARACTERIZACIÓN DE CAUSAS Y AGENTES TRANSFORMACIÓN DEL BOSQUE V3
- Buttons:** GUARDAR (Save), Agregar desde la biblioteca (Add from library), Diseño y configuración (Design and configuration).
- Section K.1:** Question "K 1. ¿Usted desarrolla actividades mineras?" with two options:
 - Si**: Valor XML: si
 - No (Pase al siguiente modulo)**: Valor XML: no_pase_al_siguiente_modulo
- Section K.2:** Question "K 2. ¿Dónde realiza esta actividad?" with two options:
 - En su Predio**: Valor XML: en_su_predio
 - Otro predio**: Valor XML: otro_predio

L. Recursos naturales

proyecto
CARACTERIZACIÓN DE CAUSAS Y AGENTES TRANSFORMACIÓN DEL BOSQUE V3

GUARDAR X

Agregar desde la biblioteca | Diseño y configuración

▼ L. Recursos naturales

▼ L.1. ¿Qué productos no maderables aprovecha principalmente de los bosques naturales?
Sugerencia de pregunta

Frutos Valor XML: frutos
Semillas Valor XML: semillas
Latex Valor XML: latex
Tintes Valor XML: tintes
Resinas Valor XML: resinas
Fauna (animales silvestres para consumo) Valor XML: fauna_animales_silvestres
h. Otro Valor XML: h_otro
i. Ninguno Valor XML: i_ninguno
+ Hacer clic para agregar otra respuesta... Valor XML: AUTOMÁTICO

L.1a. Si, es otro producto natural, escriba por favor cual y que uso le da:
Sugerencia de respuesta

Anexo 15: Guion de la entrevista

1. Primero hacia una breve presentación de la persona entrevistada.

Ejemplo: Nos encontramos con el doctor NNNN coordinador de la Oficina de las Naciones Unidas contra las Drogas y el Delito para el departamento de Putumayo esta oficina trabaja para prevenir que las drogas y los delitos atente o amenacen con la seguridad la paz de las comunidades de esta región doctor NNNN

2. Agradecía por el espacio que me brindaba y me presentaba, también explicaba sobre la investigación que estoy realizando

Ejemplo: agradecerle por este espacio yo soy estudiante del Programa de Doctorado de Geografía de la Universitat Autònoma Barcelona y me encuentro haciendo mi investigación doctoral sobre el cambio de coberturas en el municipio de Puerto Guzmán que es uno de los municipios que más ha tenido este fenómeno de pérdida de cobertura forestal a nivel nacional

3. Luego pedía que hicieran una presentación sobre toda su trayectoria profesional y que resalte la experiencia que tiene.

Ejemplo: pero antes de entrar en detalle me gustaría que nos hiciera una presentación suya, cuál es su profesión, cuál ha sido su experiencia laboral.

4. Luego las entrevistas se direccionaban sobre la perspectiva de los entrevistados sobre

- Causas y agentes de la deforestación
- Apoyo institucional
- Alternativas de Solución

5. Conforme se desarrollaba la entrevista se trataba de adaptar al entrevistado y profundizar sobre puntos que consideraba importantes para la investigación:

- Lo primero era preguntar sobre qué acciones se están realizando.
- Cuáles son las experiencias positivas y negativas que han tenido
- Retos que tienen
- Sugerencias para mejorar

Anexo 16: Entrevistas cargadas en ATLAS.ti

Transcripción de las entrevistas cargadas

IDen...	Nombre	Tipo	Ubicación	Grupos	Citas	Creado por	Modificado por	Creado	Modificado
D 1	T_Cristian Gelpud PNIS	Texto	Biblioteca		74	Mobile46	Mobile46	10/10/2022 16:36	10/10/2022 16:36
D 2	T_William Silva	Texto	Biblioteca		39	Mobile46	Mobile46	10/10/2022 16:39	10/10/2022 16:39
D 3	T_Carlos Quintero	Texto	Biblioteca		33	Mobile46	Mobile46	10/10/2022 16:40	10/10/2022 16:40
D 4	T_Carlos Toro	Texto	Biblioteca		88	Mobile46	Mobile46	10/10/2022 16:40	10/10/2022 16:40
D 5	T_José Ortiz	Texto	Biblioteca		6	Mobile46	Mobile46	10/10/2022 16:40	10/10/2022 16:40
D 6	T_Lvino Gonzales	Texto	Biblioteca		28	Mobile46	Mobile46	10/10/2022 16:41	10/10/2022 16:41
D 7	T_Isaías EXFARC Pto...	Texto	Biblioteca		29	Mobile46	Mobile46	10/10/2022 16:41	10/10/2022 16:41
D 8	T_Miguel Ángel Cánc...	Texto	Biblioteca		9	Mobile46	Mobile46	10/10/2022 16:41	10/10/2022 16:41
D 9	T_Amanda López	Texto	Biblioteca		43	Mobile46	Mobile46	10/10/2022 16:41	10/10/2022 16:41
D 10	T_María Ester Bernál	Texto	Biblioteca		10	Mobile46	Mobile46	10/10/2022 16:41	10/10/2022 16:41
D 11	T_David Eraso	Texto	Biblioteca		48	Mobile46	Mobile46	10/10/2022 16:41	10/10/2022 16:41
D 12	T_Suleyma Quintero	Texto	Biblioteca		53	Mobile46	Mobile46	10/10/2022 16:41	10/10/2022 16:41
D 13	T_Gustavo Torres	Texto	Biblioteca		34	Mobile46	Mobile46	10/10/2022 16:41	10/10/2022 16:41
D 14	T_Diana Ocampo	Texto	Biblioteca		44	Mobile46	Mobile46	10/10/2022 16:41	10/10/2022 16:41
D 15	T_Luis López Jamioy	Texto	Biblioteca		59	Mobile46	Mobile46	10/10/2022 16:41	10/10/2022 16:41
D 16	T_Oscar Paredes Me...	Texto	Biblioteca		0	Mobile46	Mobile46	10/10/2022 16:41	10/10/2022 16:41

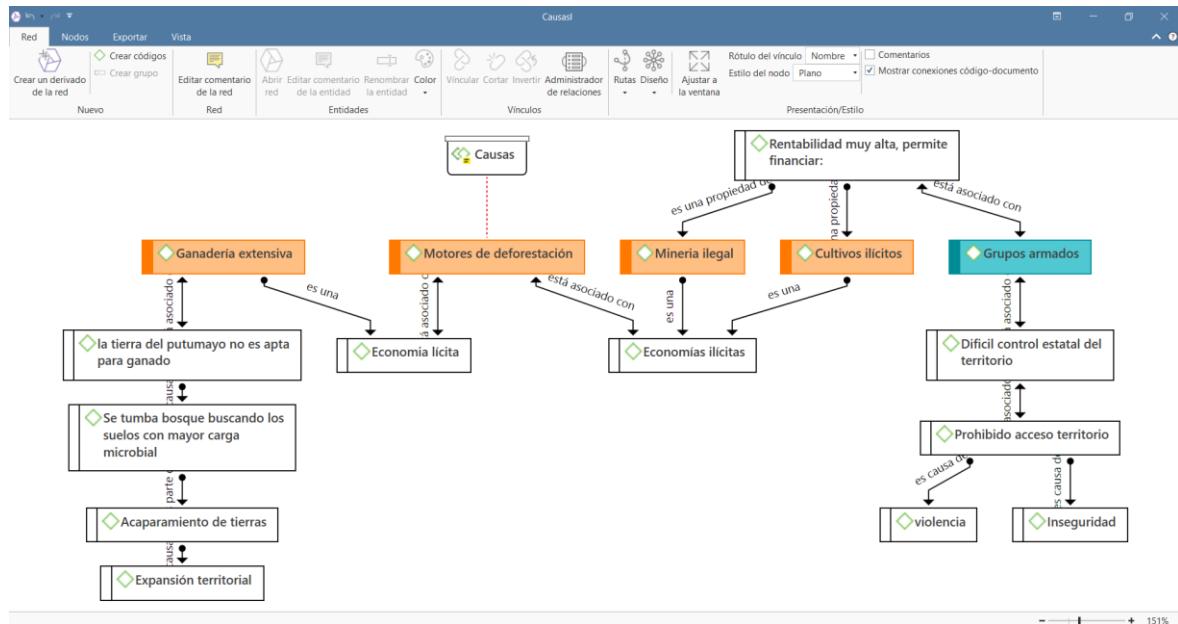
Oscar Erazo
En esta ocasión nos encontramos en la casa de la ingeniera Amanda López, señora Amanda pues quisiera agradecerle por este espacio que me brinda, es básicamente lo que le comenté previamente, soy estudiante del Programa del Doctorado en Geografía de la Universidad Autónoma de Barcelona, me encuentro haciendo una investigación sobre análisis de cambio de coberturas, identificar cuáles son las causas y los agentes que conllevan a estos cambios y de cierta forma buscar métodos o alternativas para prevenir o controlar mejor estos cambios. La ingeniera Amanda López, es una persona muy buena, en Guzmán, como sabemos en reportes a nivel nacional, es uno de los municipios que más ha tenido cambio de cobertura forestal, mayor pérdida de cobertura forestal. Ingeniera Amanda, muchas gracias, me gustaría que iniciáramos con

Códigos

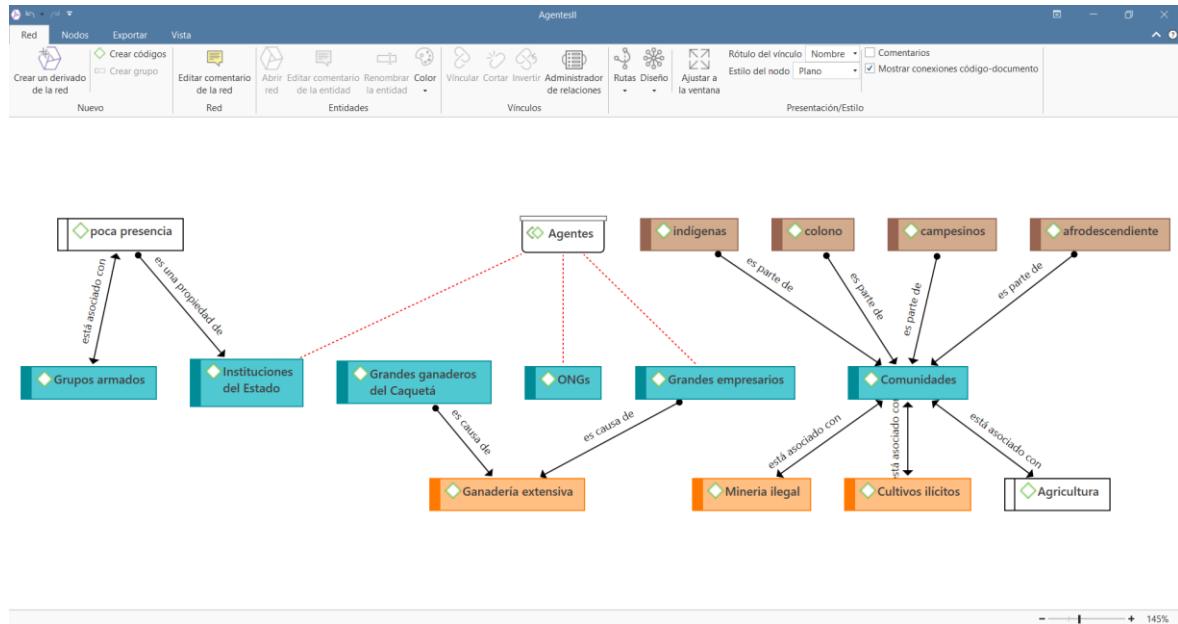
Nombre	Enraizamiento	Densidad	Grupos	Creado por	Modificado por	Creado	Modificado
○ beneficiarios	1	0	Mobile46	Mobile46	25/10/2022 10:35	25/10/2022 10:35	
○ brechas	1	0	Mobile46	Mobile46	25/10/2022 10:35	25/10/2022 10:35	
○ Brindar asistencia técnica inte...	1	2	Mobile46	Mobile46	25/10/2022 10:35	25/10/2022 10:35	
○ buen vivir	1	0	Mobile46	Mobile46	25/10/2022 10:35	25/10/2022 10:35	
○ cacao	2	1	Mobile46	Mobile46	25/10/2022 10:35	25/10/2022 10:35	
○ calidad	1	1	Mobile46	Mobile46	25/10/2022 10:35	25/10/2022 10:35	
○ cambio climático	2	0	Mobile46	Mobile46	25/10/2022 10:35	25/10/2022 10:35	
○ cambio de cobertura no es lin...	1	0	Mobile46	Mobile46	25/10/2022 10:35	25/10/2022 10:35	
○ Cambio de cultura en el mane...	1	2	Mobile46	Mobile46	25/10/2022 10:35	25/10/2022 10:35	
○ campañas	1	2	Mobile46	Mobile46	25/10/2022 10:35	25/10/2022 10:35	
● campesinos	2	1	Mobile46	Mobile46	25/10/2022 10:35	25/10/2022 10:35	
○ campesinos del departamento...	1	2	Mobile46	Mobile46	25/10/2022 10:35	25/10/2022 10:35	
○ capacidad técnica	1	0	Mobile46	Mobile46	25/10/2022 10:35	25/10/2022 10:35	
○ capacitación	1	0	Mobile46	Mobile46	25/10/2022 10:35	25/10/2022 10:35	
○ capacitaciones	3	2	Mobile46	Mobile46	25/10/2022 10:35	25/10/2022 10:35	
○ Caquetá	2	0	Mobile46	Mobile46	25/10/2022 10:35	25/10/2022 10:35	

Comentario:
calidad

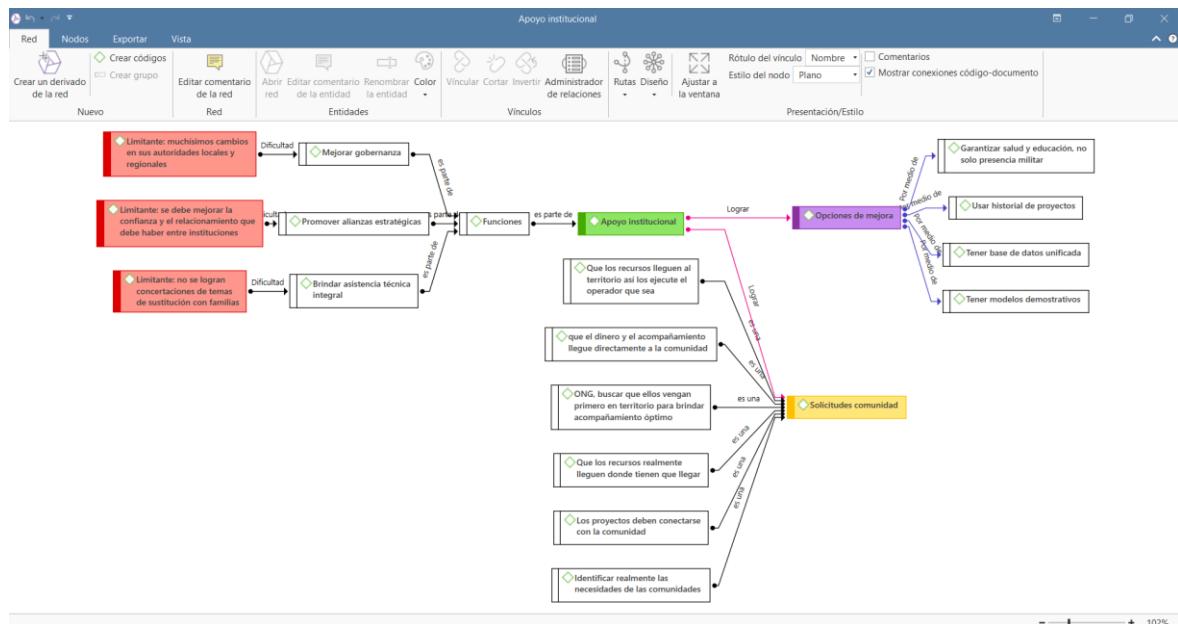
Red semántica de las Causas derivada de códigos



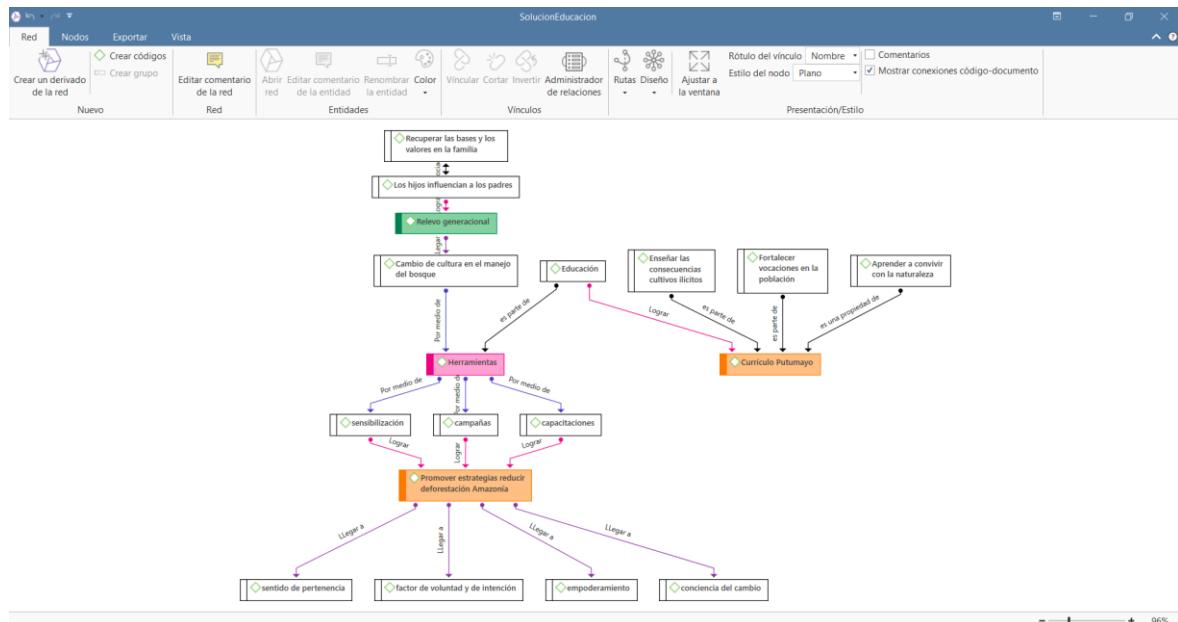
Red semántica de los Agentes derivada de códigos



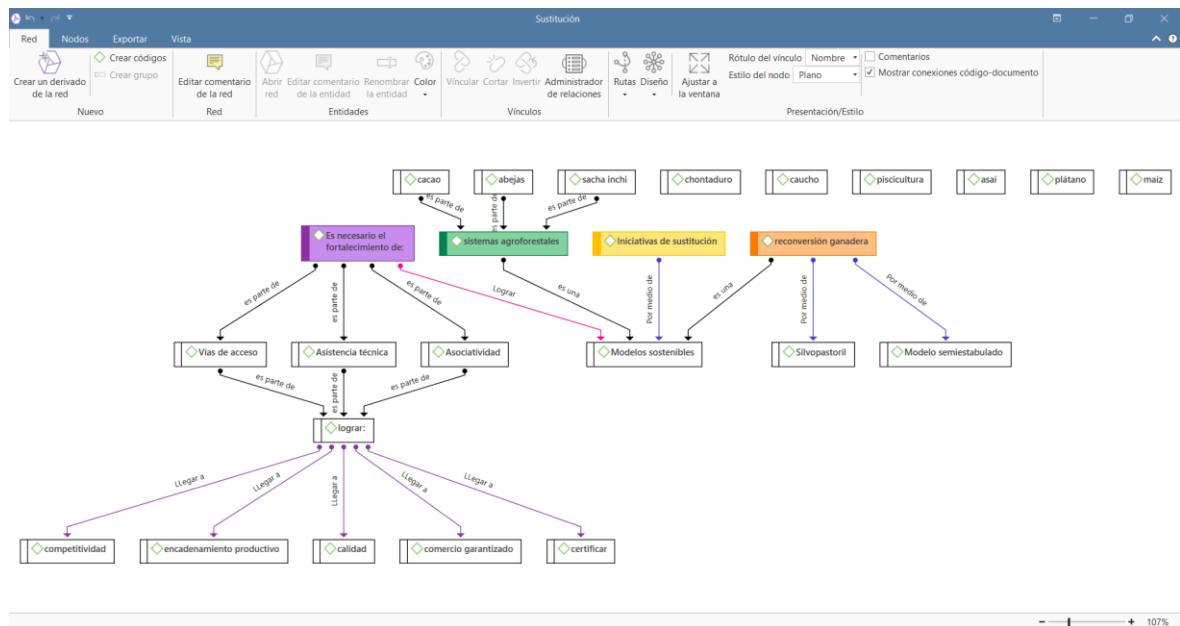
Red semántica del Apoyo Institucional derivada de códigos



Red semántica Educación como alternativa de solución derivada de códigos



Red semántica de Sustitución de Cultivos Ilícitos derivada de códigos



Anexo 17: Unidades de coberturas de la tierra para la leyenda nacional, escala 1:100.000, de acuerdo con la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia

LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - COLOMBIA	
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES
1.1. Zonas urbanizadas	3.1. Bosques
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme 3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable 3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme 3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	3.1.2. Bosque abierto
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme 3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme 3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.3. Bosque fragmentado
1.2.4. Aeropuertos	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.5. Plantación forestal
1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.2.1.1. Herbazal denso
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado 3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado 3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos 3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado 3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	3.2.1.1.2.3. Arracachal 3.2.1.1.2.4. Helechal
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.2.1.2. Herbazal abierto
1.4.2. Instalaciones recreativa	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso 3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	3.2.2.1. Arbustal denso 3.2.2.2. Arbustal abierto 3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
2.1. Cultivos transitorios	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.3.1. Zonas arenosas naturales
2.1.2. Cereales	3.3.2. Afloramientos rocosos
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
2.1.4. Hortalizas	3.3.4. Zonas quemadas
2.1.5. Tubérculos	3.3.5. Zonas glaciares y nivales
2.2. Cultivos permanentes	4. ÁREAS HUMEDAS
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	4.1. Áreas húmedas continentales
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	4.1.1. Zonas Pantanosas
2.2.1.2. Caña	4.1.2. Turberas
2.2.1.3. Plátano y banano	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
2.2.1.4. Tabaco	4.2. Áreas húmedas costeras
2.2.1.5. Papaya	4.2.1. Pantanos costeros
2.2.1.6. Amapola	4.2.2. Salitral
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	5. SUPERFICIES DE AGUA
2.2.2.2. Caf	5.1. Aguas continentales
2.2.2.3. Cacao	5.1.1. Ríos (50 m)
2.2.2.4. Viñedos	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
2.2.2.5. Coca	5.1.3. Canales
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	5.2. Aguas marítimas
2.2.3.2. Palma de aceite	5.2.1. Lagunas costeras
2.2.3.3. Cítricos	5.2.2. Mares y océanos
2.2.3.4. Mango	5.2.3. Estanques para acuicultura marina
2.2.4. Cultivos agroforestales	
2.2.5. Cultivos confinados	
2.3. Pastos	
2.3.1. Pastos limpios	
2.3.2. Pastos arbolados	
2.3.3. Pastos enmalezados	
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	
2.4.1. Mosaico de cultivos	
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	