



Análisis de las tendencias espaciales de deforestación en el centro poblado de la Tagua Municipio de Puerto Leguizamo (Putumayo) en el marco de la sentencia 4360 de 2018 en los periodos 2016 a 2023.

Laura Camila Palacios Mora
Luis Eduardo Paz Zambrano
Frances Manuela Rodríguez Torres

Tipo de documento para optar al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Asesores de recursos académicos: Juan Pablo Charry Osorio (asesor bibliográfico).

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Especialización en Sistemas de Información Geográfica - Virtual
Manizales, Caldas, Colombia

2025

Cita	(Palacios Mora et al, 2025)
Referencia Estilo APA 7 (2020)	Palacios Mora, L. C., Rodríguez Torres, F. M., & Zambrano Paz, L. (2025). <i>Análisis de las tendencias espaciales de deforestación en el centro poblado de la Tagua Municipio de Puerto Leguizamo (Putumayo) en el marco de la sentencia 4360 de 2018 en los periodos de tiempo 2016 a 2023</i> . [Trabajo de grado especialización. Universidad de Manizales. RIDUM: Repositorio Institucional Universidad de Manizales.



Especialización en Sistemas de Información Geográfica - Virtual, II

Declaración de inteligencia artificial: el o los autores de este trabajo de grado declaran que han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA), tales como ChatGPT de manera ética y responsable, tal como se establece en el Acuerdo UManizales 002 (julio 26 de 2023) sobre propiedad intelectual e IA. Estas herramientas son empleadas como apoyo en la redacción, revisión gramatical y generación de ideas, pero en ningún caso sustituyen el análisis crítico, la argumentación académica ni la originalidad del trabajo. Asimismo, cualquier contenido generado con asistencia de IA está citado y referenciado adecuadamente, garantizando la integridad académica y el cumplimiento de los principios éticos de la investigación.

Biblioteca y Centro de Recursos: <https://biblioteca.umanizales.edu.co/>

Repositorio Institucional: <http://ridum.umanizales.edu.co/>

Universidad de Manizales: www.umanizales.edu.co

Revistas: <http://revistasum.umanizales.edu.co/>

Fondo Editorial: <https://editorialum.umanizales.edu.co/>

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Manizales ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexo.

Tabla de contenido

Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
1 Planteamiento del problema	12
1.1 Antecedentes	12
1.1.1 Evaluaciones críticas sobre la sentencia 4360 de 2018	26
1.1.2 Estudios comparativos en otras regiones de Colombia	30
1.1.3 Propuestas integradoras desde la planificación y gobernanza ambiental	34
1.1.4 Plataformas internacionales para la detección de la deforestación	34
2 Justificación	44
3 Objetivos	45
3.1 Objetivo general	45
3.2 Objetivos específicos	45
4 Marco teórico	46
4.1 Sistemas de información geográfica (SIG)	47
4.2 Percepción remota	48
4.3 Imágenes satelitales	48
4.4 Planetscope	49
4.5 Análisis espacial	50
4.6 Patrones y tendencias espaciales	50
4.7 Sentencia de la amazonia 4360 de 2018	51
4.8 Deforestación	52
4.9 Uso del suelo	53

4.10 Cambio de cobertura	54
5.1 Tipo de estudio	55
5.2 Procedimiento.....	56
5.2.1 Identificar espacialmente las tendencias temporales de deforestación en el Centro Poblado Rural de la Tagua Municipio de Puerto Leguizamo (Putumayo), entre los años 2016 a 2023, mediante la aplicación de la técnica de clasificación supervisada en ArcGIS Pro.	56
5.3.1 Determinar las áreas críticas de deforestación mediante el uso de imágenes PlanetScope Scene entre los años 2016 a 2023.	68
5.4.1 Evaluar el impacto de la sentencia 4360 de 2018 sobre la dinámica de la deforestación en el área de estudio.	73
6 Resultados	75
6.1 <i>Identificar espacialmente las tendencias temporales de deforestación en el Centro Poblado Rural de la Tagua Municipio de Puerto Leguizamo (Putumayo), entre los años 2016 a 2023, mediante la aplicación de la técnica de clasificación supervisada en ArcGIS Pro.</i>	75
6.1.1 Tendencias temporales de deforestación año 2016 CP La Tagua.....	76
6.1.2 Tendencias temporales de deforestación año 2017 CP La Tagua.....	77
6.1.3 Tendencias temporales de deforestación año 2018 CP La Tagua.....	79
6.1.4 Tendencias temporales de deforestación año 2019 CP La Tagua.....	81
6.1.5 Tendencias temporales de deforestación año 2020 CP La Tagua.....	83
6.1.6 Tendencias temporales de deforestación año 2021 CP La Tagua.....	85
6.1.7 Tendencias temporales de deforestación año 2022 CP La Tagua.....	87
6.1.8 Tendencias temporales de deforestación año 2023 CP La Tagua.....	89
6.2 <i>Determinar las áreas críticas de deforestación mediante el uso de imágenes PlanetScope Scene entre los años 2016 a 2023.</i>	94
6.3 <i>Evaluar el impacto de la sentencia 4360 de 2018 sobre la dinámica de la deforestación en el área de estudio.</i>	105
7 Discusión	107
8 Conclusiones	109
9 Recomendaciones.....	111

Referencias 112

Anexos..... 118

Anexo 1. Índices de precisión: Coeficiente Kappa 118

Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros animación	62
Tabla 2. Serie de deforestación comprendido entre los años 2016-2013 (Área total de estudio 32,224 Ha)	103
Tabla 3. Cambios en los indicadores de deforestación antes y después de la Sentencia 4360 (2016–2023)	107
Tabla 4. Evaluación de exactitud de la clasificación supervisada – Año 2016	120
Tabla 5. Evaluación de exactitud de la clasificación supervisada – Año 2017	120
Tabla 6. Evaluación de exactitud de la clasificación supervisada – Año 2018	120
Tabla 7. Evaluación de exactitud de la clasificación supervisada – Año 2019	121
Tabla 8. Evaluación de exactitud de la clasificación supervisada – Año 2020	121
Tabla 9. Evaluación de exactitud de la clasificación supervisada – Año 2021	121
Tabla 10. Evaluación de exactitud de la clasificación supervisada – Año 2022	122
Tabla 11. Evaluación de exactitud de la clasificación supervisada – Año 2023	122

Lista de figuras

Figura 1 Desarrollo metodológico Objetivo N° 1	57
Figura 2 Metadatos imagen satelital Planet Scope.....	58
Figura 3 Corrección Radiométrica	60
Figura 4 Corrección Atmosférica.....	61
Figura 5 Resultado de la composición de la imagen.....	63
Figura 6 Composición de bandas	63
Figura 7 Clasificación Supervisada, capa de puntos	65
Figura 8 Desarrollo metodológico Objetivo N° 2	68
Figura 9 ModelBuilder con lógica paramétrica	69
Figura 10 Desarrollo metodológico Objetivo N°3	73
Figura 11 Clasificación supervisada año 2016.....	77
Figura 12 Clasificación supervisada año 2017.....	79
Figura 13 Clasificación supervisada año 2018.....	81
Figura 14 Clasificación supervisada año 2019.....	82
Figura 15 Reporte de deforestación año 2019 -2020	83
Figura 16 Clasificación supervisada año 2020.....	85
Figura 17 Clasificación supervisada año 2021.....	87
Figura 18 Clasificación supervisada año 2022.....	89
Figura 19 Clasificación supervisada año 2023.....	91
Figura 20 Área no bosque por año en la Tagua (2016 - 2023)	92
Figura 21 Área de bosque CPR La Tagua (2016 - 2023).....	93
Figura 22 Animación cambio de bosque - no bosque la Tagua	94
Figura 23 Cambio de cobertura de bosque a no bosque periodo 2016 -2017	95
Figura 24 Cambio de cobertura de bosque a no bosque periodo 2017 - 2018.....	96

Figura 25 Cambio de cobertura de bosque a no bosque periodo 2018 – 2019	97
Figura 26 Cambio de cobertura de bosque a no bosque periodo 2019 - 2020	98
Figura 27 Cambio de cobertura de bosque a no bosque periodo 2020 – 2021	99
Figura 28 Cambio de cobertura de bosque a no bosque periodo 2021 -2022	100
Figura 29 Cambio de cobertura de bosque a no bosque periodo 2022 – 2023	101
Figura 30 Pérdida anual de bosque (2016 - 2023)	103
Figura 31 Áreas críticas de deforestación periodo 2016 - 2023.....	104

Siglas, acrónimos y abreviaturas

CARDER	Corporación Autónoma Regional de Risaralda
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CONIF	Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal
CVC	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
GFW	Global Forest Watch
FARC	Fuerzas Armadas Revolucionaras de Colombia
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
INDERENA	Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente
OTCA	Organización del Tratado de Cooperación Amazónica
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SINA	Sistema Nacional Ambiental
TMF	Tropical Moist Forests
WWF	World Wildlife Fund

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo central analizar las tendencias espaciales de deforestación en el centro poblado de la Tagua, municipio de Puerto Leguizamo, en el periodo comprendido entre los años 2016 y 2023. La dinámica territorial analizada ocurre en un contexto influenciado por múltiples factores legales y sociales, entre ellos, la existencia de normativas como la Sentencia 4360 de 2018, la cual reconoce a la Amazonía colombiana como sujeto de derechos. La metodología utilizada se basó en el uso de imágenes satelitales PlanetScope, técnicas de clasificación supervisada y el diseño de workflow en ModelBuilder con lógica paramétrica, permitiendo identificar cambios en la cobertura forestal y delimitar áreas críticas de transformación del paisaje. En este orden de ideas, los hallazgos muestran que, durante el periodo analizado, se observó una transición de grandes focos de deforestación hacia una mayor fragmentación, con incremento de parches pequeños y focos más numerosos pero localizados, destacando el periodo del año 2016-2017 como el año más crítico y 2022-2023 como el de mayor dispersión. A pesar de que en el año 2023 se registran signos de estabilización, la presión sobre el bosque continúa, influenciada por actividades ilegales y la ausencia de gobernanza, aunque existen avances normativos, persisten presiones territoriales como la ganadería extensiva, los cultivos ilícitos y la débil presencia institucional, que limitan los impactos positivos de las políticas ambientales. En efecto, este análisis constituye un insumo clave para orientar acciones de control, restauración y planificación territorial sostenible en esta zona de la Amazonía colombiana a través de los Sistemas de Información Geográfica.

Palabras clave: Deforestación, tendencias espaciales, sistemas de información geográfica (SIG), sentencia 4360 de 2018, transformación del paisaje.

Abstract

The main objective of this study is to analyze spatial deforestation trends in the town of La Tagua, municipality of Puerto Leguizamo, between 2016 and 2023. The territorial dynamics analyzed occur in a context influenced by multiple legal and social factors, including regulations such as Judgment 4360 of 2018, which recognizes the Colombian Amazon as a subject of rights. The methodology used was based on the use of PlanetScope satellite images, supervised classification techniques, and the design of a workflow in ModelBuilder with parametric logic, allowing the identification of changes in forest cover and the delimitation of critical areas of landscape transformation. In this context, the findings show that, during the analyzed period, a transition was observed from large pockets of deforestation to greater fragmentation, with an increase in small patches and more numerous but localized pockets. The 2016-2017 period stood out as the most critical year and the 2022-2023 period as the most dispersed. Although signs of stabilization are recorded in 2023, pressure on the forest continues, influenced by illegal activities and the lack of governance. Despite regulatory advances, territorial pressures such as extensive livestock farming, illicit crops, and a weak institutional presence persist, limiting the positive impacts of environmental policies. Indeed, this analysis constitutes a key input for guiding control, restoration, and sustainable territorial planning actions in this area of the Colombian Amazon through Geographic Information Systems.

Keywords: Deforestation, spatial trends, geographic information systems (GIS), ruling 4360 of 2018, landscape transformation.

Introducción

La región amazónica constituye uno de los ecosistemas más biodiversos y estratégicos del planeta, pero también uno de los más amenazados por la intervención humana. En las últimas décadas, el fenómeno de la deforestación ha progresado de una manera alarmante, comprometiendo no solo la integridad ecológica de los bosques tropicales, sino también los derechos fundamentales de las comunidades que habitan estos territorios. En este contexto, el municipio de Puerto Leguizamo, en el departamento del Putumayo, representa uno de los focos críticos de pérdida de cobertura boscosa. Particularmente, el centro poblado de La Tagua se ha convertido en un caso representativo de las tensiones entre conservación ambiental, expansión de la frontera agropecuaria, presencia de grupos armados y la ausencia de la presencia institucional.

A pesar de la expedición de instrumentos jurídicos como la Sentencia STC 4360 de 2018, mediante la cual la Corte Suprema de Justicia declaró a la Amazonía colombiana como sujeto de derechos, los niveles de deforestación continúan en ascenso. En zonas como La Tagua, la tala ilegal, la ganadería extensiva, los cultivos ilícitos y la construcción de vías no planificadas han sido factores determinantes en la transformación del paisaje. Esta situación evidencia una disputa entre las disposiciones legales y su implementación real en territorios rurales y periféricos. Adicionalmente, se observa la ausencia de estudios detallados que permitan cuantificar, mediante evidencia geoespacial, la evolución de los procesos de deforestación y el impacto territorial de las políticas de conservación en el periodo posterior a la sentencia.

En respuesta a esta problemática, el presente estudio tiene como objetivo general analizar las tendencias espaciales de deforestación en el centro poblado de La Tagua, municipio de Puerto Leguizamo (Putumayo), en el marco de la Sentencia 4360 de 2018, durante el periodo comprendido entre los años 2016 y 2023, con el fin de comprender cómo han evolucionado los procesos de pérdida de bosque en un territorio clave, y evaluar si las medidas de conservación implementadas han tenido un impacto efectivo a nivel local.

En este orden de ideas, para el desarrollo de la investigación, se plantearon tres objetivos específicos: (i) Visualizar y analizar espacialmente las tendencias temporales de deforestación en el Centro Poblado Rural de la Tagua Municipio de Puerto Leguizamo (Putumayo), entre los años 2016 a 2023.; (ii) Determinar las áreas críticas de deforestación mediante el uso de imágenes

PlanetScope Scene entre los años 2016 a 2023.; y (iii) Evaluar el impacto de la sentencia 4360 de 2018 sobre la dinámica de la deforestación en el área de estudio.

Con base en lo anterior, se formularon las siguientes preguntas de investigación: ¿Cómo pueden los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ser utilizados para evaluar territorialmente la efectividad de la Sentencia 4360 de 2018 en la reducción de la deforestación en el centro poblado de La Tagua, municipio de Puerto Leguizamo, entre los años 2016 y 2023?

De acuerdo al contexto anterior, la presente investigación cobra relevancia no solo por el aporte que hace al conocimiento sobre las dinámicas territoriales de deforestación en la Amazonía colombiana, sino también porque permite evaluar de forma técnica y territorial el alcance de una sentencia considerada como pionera en el reconocimiento de los derechos de la naturaleza. Asimismo, el uso de tecnologías de percepción remota y análisis multitemporal posibilita la generación de productos cartográficos que pueden servir de insumo para la toma de decisiones por parte de las autoridades ambientales, organizaciones sociales y entidades territoriales responsables de la protección del bosque amazónico.

1 Planteamiento del problema

Uno de los problemas centrales que aquejan al territorio Colombiano, y principalmente a la región Amazónica, es la pérdida de los recursos naturales y el deterioro de los ecosistemas, afectando de manera directa los derechos fundamentales de las comunidades que residen en estos territorios (indígenas, campesinos y afrodescendientes), las cuales dependen directamente de la biodiversidad de la Amazonía para su supervivencia y su bienestar, siendo la deforestación un tema de mayor preocupación en los últimos años, ya que desde el año 2018 a la actualidad se han mantenido registros alarmantes de pérdida y transformación del bosque en la región Amazónica colombiana. (Dejusticia, 2024).

Conforme a lo anterior es importante resaltar que el departamento del Putumayo ha sido reconocido por largo tiempo como una reserva de servicios ecológicos, no sólo para los pueblos indígenas y las comunidades locales, sino, también para el resto del mundo (WWF, 2016), no obstante, la deforestación acelerada en la que se encuentra actualmente la región del Putumayo es una pequeña muestra de la devastación que sufren los bosques a diario en el planeta. Ante esta alarmante situación, y luego de muchas mesas de diálogo entre el gobierno Nacional y la comunidad que habita la Amazonía colombiana, surge la Sentencia T-4360 de 2018, un fallo clave en el marco de los derechos humanos y la protección ambiental, vinculando directamente la deforestación con la vulneración de derechos fundamentales y la necesidad de adoptar una gestión ambiental sostenible para proteger tanto a las comunidades humanas como a la biodiversidad de la Amazonía.

En este contexto, el departamento del Putumayo, hace parte del arco de deforestación de la Amazonía, de acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Putumayo ha experimentado tasas alarmantes de pérdida de cobertura boscosa en los últimos años. Municipios como Puerto Leguizamo, Orito y Villa garzón son de los más afectados, siendo Puerto Leguizamo uno de los epicentros debido a su ubicación estratégica y su conexión con otras regiones amazónicas. En 2020, se registraron más de 3.500 hectáreas deforestadas en este municipio, convirtiéndolo en un área crítica para las políticas de conservación. (Benitez, K, 2017).

En este panorama, el centro poblado de La Tagua, ubicado en el municipio de Puerto Leguizamo, constituye un caso representativo de los desafíos territoriales y ambientales que enfrenta la Amazonía colombiana. Esta zona rural, caracterizada por una alta sensibilidad ecológica

y una fuerte dependencia de los recursos naturales por parte de sus habitantes, ha experimentado transformaciones significativas en su cobertura boscosa durante la última década.

Ante esta situación se dio paso a la creación del Plan de Acción para la Reducción a cero deforestación y adaptación al cambio climático del municipio de Puerto Leguizamo, el cual tiene soporte legal en la Sentencia ST4360 del 2018, por la cual se ordena a todos los municipios de la Amazonia Colombiana (en un periodo de cinco (5) meses), elaborar un Plan de Acción de Reducción Cero de la Deforestación en su territorio, el cual debería incluir estrategias medibles de control preventivo, obligatorio, correctivo y pedagógico, dirigidas a la adaptación del cambio climático e integradas dichas estrategias al Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio Vigente.

A pesar de los esfuerzos legales y normativos, como la sentencia 4360 de 2018 de la Corte Suprema de Justicia que declaró a la Amazonia colombiana como sujeto de derechos (Corte Suprema de Justicia de Colombia, 2018) los niveles de deforestación han continuado incrementándose debido a múltiples factores, como la expansión de cultivos ilícitos, la ganadería extensiva, la tala ilegal y la falta de control en áreas rurales. Según informes, en 2020, Puerto Leguizamo fue el segundo municipio más afectado por la deforestación en Putumayo, con 3.541 hectáreas deforestadas (Infobae, 2021).

En consecuencia, podría decirse que, la deforestación no solo perjudica el ecosistema del Amazonas, sino que también pone en peligro a las comunidades indígenas y campesinas que dependen de la naturaleza para sobrevivir. A pesar de esto, hay una falta de estudios detallados que analicen cómo se relacionan las políticas y medidas legales con la reducción de este acontecimiento.

En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), cumplen un papel fundamental no solamente desde la elaboración de un mapa, sino que la importancia radica en dar a conocer desde una manera holística la pérdida de cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo que existen a través del tiempo y el espacio, dando a conocer una aproximación de lo existente, con la interacción de los factores físicos, naturales y humanos (Pineda et al., 2009).

En resumen, el planteamiento problema se relaciona estrechamente en una profunda crisis tanto social como ambiental, causada principalmente por la deforestación acelerada y la ausencia de garantías para las comunidades locales. Además, las respuestas del Estado han sido limitadas, dejando a la región en una situación de vulnerabilidad frente a estos impactos, los cuales tienen

implicaciones negativas en relación a los servicios ecológicos y la conservación de la biodiversidad que proporcionan estos ecosistemas.

1.1 Antecedentes

Colombia vive actualmente una crisis ambiental que afecta significativamente la riqueza ecológica del país. Eraso (2023), en su tesis doctoral titulada “Dinámicas y causas de la deforestación en la región amazónica de Colombia. El caso de estudio de Puerto Guzmán, Putumayo (2010–2020)”, desarrolló una investigación con enfoque mixto orientada a profundizar en las dinámicas territoriales y las causas estructurales de la deforestación en uno de los municipios más afectados de la Amazonía colombiana. El estudio combinó herramientas de análisis geoespacial con técnicas cualitativas de investigación social, permitiendo una comprensión integral del fenómeno. Esta propuesta metodológica resulta especialmente relevante para la tesis en cuestión, ya que aporta marcos comparables de análisis espacial, institucional y comunitario, aplicables al centro poblado de La Tagua en Puerto Leguizamo, donde también se busca evaluar la efectividad de medidas jurídicas como la Sentencia 4360 de 2018.

La metodología se estructuró en dos fases integradas. La primera, de carácter cartográfico y cuantitativo, consistió en el análisis multitemporal del cambio de coberturas del suelo entre 2010 y 2020, utilizando imágenes satelitales multifuente (RapidEye, PlanetScope, Sentinel-1 y Sentinel-2) y aplicando algoritmos de clasificación supervisada Random Forest (en Google Earth Engine) y k-NN (en MiraMon). Para superar la limitación de bandas en algunas imágenes (como la ausencia de SWIR en 2010), se implementó una técnica de regresión lineal múltiple para generar bandas sintéticas, lo que demuestra una capacidad de adaptación metodológica relevante para territorios amazónicos con baja disponibilidad de datos históricos. La clasificación se realizó con base en 55 variables, incluyendo bandas espectrales y 13 índices (NDVI, NDWI, NDBI, SAVI, GCI, entre otros), permitiendo una discriminación precisa de coberturas como bosque, pastos, cultivos, cuerpos de agua y áreas urbanas. Los resultados fueron validados mediante matrices de confusión y coeficiente Kappa, asegurando confiabilidad en la cartografía generada. Asimismo, se aplicó el índice de fragmentación de Steenmans & Pinborg (2000), utilizando celdas de 2 km² y celdillas de 250 m², para medir la conectividad ecológica y detectar patrones de degradación del paisaje, una dimensión clave para la evaluación de los efectos territoriales de la deforestación.

La segunda fase, de naturaleza cualitativa e interpretativa, se centró en caracterizar las causas y agentes sociales de la deforestación. Para ello, se realizaron 25 entrevistas semiestructuradas y 30 encuestas, aplicadas mediante muestreo por bola de nieve a líderes locales,

pobladores, funcionarios e integrantes de organizaciones sociales. Se utilizó el software Atlas, para el análisis de contenido, con énfasis en categorías como causas, agentes, gobernanza, percepción de la educación ambiental y análisis de alternativas. Además, se aplicaron herramientas como la matriz de Vester y la construcción de árboles de problemas, que permitieron jerarquizar causas estructurales y consecuencias territoriales del fenómeno. Este enfoque cualitativo resulta fundamental para la tesis en cuestión, ya que permite vincular los hallazgos espaciales con las percepciones, conflictos y dinámicas sociales locales, lo cual es esencial para evaluar la efectividad real de medidas jurídicas como la Sentencia 4360 de 2018 en territorios complejos y de alta presión ambiental.

Los resultados espaciales obtenidos a través del procesamiento de imágenes satelitales revelaron que entre 2010 y 2020 el municipio de Puerto Guzmán perdió un 10,55% de su cobertura boscosa, evidenciando una tendencia sostenida de transformación del uso del suelo, especialmente hacia pastizales y zonas abiertas sin vegetación. Las zonas más afectadas se localizaron en las periferias de las áreas de conservación, en regiones de alta accesibilidad terrestre y cercanas a corredores fluviales, lo que refleja el patrón de colonización lineal a lo largo de vías y ríos. El análisis de fragmentación forestal indicó un avance preocupante en la pérdida de conectividad ecológica: los bosques altamente fragmentados aumentaron de 12,8% a 23,6% del total, mientras que los bosques bien conservados disminuyeron de 44,3% a 35,9%, lo que implica un deterioro progresivo de la estructura del paisaje. Este proceso, medido con el índice de Steenmans & Pinborg, muestra no solo deforestación directa, sino degradación funcional, lo que compromete el mantenimiento de servicios ecosistémicos clave.

Desde el enfoque cualitativo, los resultados permitieron identificar una red compleja de causas directas y subyacentes. Entre las causas directas, se destacaron la ganadería extensiva, los cultivos ilícitos (particularmente de coca), la extracción selectiva de madera y la apertura de nuevas áreas para usos agropecuarios. En cuanto a las causas estructurales, se evidenció una fuerte presencia de factores sociales como la pobreza multidimensional, la informalidad en la tenencia de la tierra, y la débil presencia institucional. Los datos obtenidos en las entrevistas y encuestas mostraron que más del 70% de los encuestados no perciben una presencia efectiva del Estado en el control del territorio, y que las estrategias de conservación implementadas carecen de legitimidad y de articulación con los actores locales.

Uno de los aportes más significativos del estudio fue el uso de la matriz de Vester, que permitió jerarquizar las variables clave del sistema territorial de deforestación. Se identificaron como variables críticas: la debilidad institucional, la ganadería extensiva y la ausencia de alternativas económicas sostenibles. En contraste, se evidenció una baja capacidad de las comunidades para incidir en la toma de decisiones ambientales, lo que refuerza las condiciones para la expansión de actividades ilegales y no planificadas. Además, se detectó una desarticulación entre las políticas nacionales de control y las realidades locales, lo cual explica la limitada eficacia de programas como los de sustitución de cultivos o de compensación por servicios ecosistémicos.

La investigación también reveló una percepción generalizada de desconfianza hacia las autoridades ambientales y una sensación de abandono institucional. Los programas de educación ambiental, aunque valorados como necesarios, fueron considerados insuficientes y poco integrados a procesos de desarrollo local. Se evidenció además una alta carga de riesgo para líderes ambientales, lo cual inhibe la participación ciudadana en estrategias de monitoreo comunitario y vigilancia ambiental.

Este estudio constituye un antecedente de alto valor para la tesis en desarrollo, ya que permite entender la deforestación no solo como un fenómeno físico medible, sino como un proceso social e institucional que se construye a partir de la interacción entre actores locales, políticas estatales y dinámicas económicas regionales. Al compartir similitudes geográficas, ecosistémicas y socioeconómicas con el caso de La Tagua, sus hallazgos permiten establecer puntos de comparación sólidos sobre la efectividad real de instrumentos jurídicos como la Sentencia 4360 de 2018. Asimismo, ofrece herramientas metodológicas y conceptuales clave para diseñar estrategias de análisis multitemporal con enfoque territorial y participativo, lo cual fortalece los fundamentos técnicos y políticos de la presente investigación.

Complementado esta perspectiva Rodríguez y Fajardo (2023), en su estudio titulado “Análisis multitemporal de la pérdida de la cobertura forestal en el Parque Nacional Natural La Paya en el periodo 2002-2021”, desarrollaron un análisis geoespacial aplicado con el fin de evaluar la pérdida de cobertura forestal en una de las áreas protegidas más importantes del sur del país, localizada en el municipio de Puerto Leguizamo, Putumayo. El estudio se planteó como objetivo general identificar la capacidad del uso de índices de vegetación (NDVI, RDVI y SR) para estimar la pérdida de cobertura forestal en el Parque Nacional Natural La Paya, mediante un análisis multitemporal con imágenes satelitales Landsat de los años 2002, 2015 y 2021. Entre los objetivos

específicos se propusieron: caracterizar la pérdida de cobertura forestal con base en información oficial, clasificar imágenes en categorías de bosque y no bosque mediante técnicas de clasificación no supervisada, y generar mapas temáticos de deforestación y reforestación para identificar los cambios espaciales ocurridos durante el periodo de análisis.

La metodología fue robusta y se organizó en tres etapas fundamentales: Etapa I - Alistamiento de información, donde se delimita la zona de estudio a partir del shape oficial del PNN La Paya disponible en el SIAC; se identifican los path/row del sistema WRS-2; se descargan imágenes Landsat 7, 8 y 9 desde EarthExplorer; y se preprocesan aplicando recortes espaciales, corrección geométrica y radiométrica a nivel 2. También se realiza el cálculo de estadísticas básicas como media, desviación estándar y matrices de correlación para seleccionar la combinación óptima de bandas.

Etapa II - Procesamiento de información, en la cual se calculan los índices NDVI, RDVI y SR usando álgebra de bandas; se aplica una clasificación no supervisada tipo K-means con 15 clases espectrales, que luego son reclasificadas a una categoría binaria: bosque (1) y no bosque (0); posteriormente, se realizan operaciones de álgebra de mapas entre pares de imágenes para detectar cambios temporales (bosque persistente, no bosque persistente, deforestación y reforestación). Se genera así una serie de mapas de cambio para los intervalos 2002–2015, 2015–2021 y 2002–2021.

Etapa III - Análisis de resultados, donde se cuantifican los cambios detectados en hectáreas usando la dimensión espacial de los píxeles y se valida la calidad de los mapas generados mediante matrices de confusión. Se calculan indicadores de precisión como la precisión total, precisión del productor, precisión del usuario y el coeficiente Kappa, que permitió establecer la fuerza de concordancia entre los datos clasificados y una fuente de referencia.

Los resultados revelaron una pérdida neta de 18.735 hectáreas de cobertura forestal entre 2002 y 2021, equivalente a una disminución del 3,52% del área boscosa total del parque. Los mapas multitemporales mostraron que las áreas más afectadas por deforestación se ubicaron en bordes de drenajes y zonas periféricas del parque, especialmente aquellas cercanas al casco urbano de Puerto Leguizamo. El periodo más crítico fue entre 2015 y 2021, con una deforestación de 13.297 ha. La validación temática arrojó que el índice NDVI fue el más eficaz ($Kappa = 0.5976$), seguido por SR (0.5360) y RDVI (0.4462), todos con concordancia moderada. Aunque se identificaron zonas de reforestación espontánea, estas fueron significativamente menores en comparación con las áreas deforestadas.

Este estudio es particularmente relevante para esta investigación, ya que emplea una metodología replicable para el análisis multitemporal en entornos amazónicos, basada en sensores remotos, álgebra de mapas y validación temática. Al situarse en el mismo contexto geográfico el municipio de Puerto Leguizamo, sus hallazgos y enfoques técnicos permiten contrastar de forma directa la efectividad territorial de políticas ambientales como la Sentencia 4360 de 2018. Además, proporciona una línea base precisa para la evaluación de dinámicas recientes de deforestación y resalta la necesidad de fortalecer la articulación entre las herramientas tecnológicas de monitoreo y las decisiones de gestión ambiental en campo, especialmente en zonas de alta fragilidad ecológica y baja gobernanza institucional.

Espinoza (2022), analizó los patrones de deforestación entre 2018 y 2022 en el mismo parque nacional, en su estudio que tiene por objetivo evaluar el cambio de cobertura de bosque en entre el periodo 2018 a 2022 mediante el uso de herramientas de teledetección y análisis geoespacial. Este estudio se enfoca en generar cartografía temática, y ésta pueda ser útil en la toma de decisiones frente a políticas ambientales para reducción de pérdida de bosque. La información recolectada, resalta aspectos fundamentales sobre deforestación en áreas con suelo protegido, identificando a las actividades humanas como las principales causas de esta problemática como es la ganadería, la instauración de cultivos, y por supuesto la minería y la tala ilegal.

Para su desarrollo, se empleó una metodología que contiene los siguientes pasos:

1. Descarga de imágenes satelitales de Landsat 8 para los años 2018 a 2022 y recorte de la zona de estudio, el cual se encuentra en el municipio de Puerto Leguizamo en Putumayo.
2. Pre procesamiento de las imágenes satelitales: se realizó la corrección radiométrica y geométrica de las imágenes para asegurar su comparabilidad temporal.
3. Clasificación supervisada para distinguir entre áreas boscosas y no boscosas
4. Análisis multitemporal: al comparar las clasificaciones obtenidas del paso anterior en los diferentes años para identificar las zonas con más deforestación.
5. Generación de mapas de deforestación.

Los resultados de este estudio, arrojaron diferentes patrones que apuntan a las principales causas de la deforestación en el Parque Nacional Natural La Paya, los cuales tienen que ver con

cultivos ilícitos, colonización ilegal por los asentamientos humanos y la instauración de infraestructura clandestina como la construcción de caminos y vías que fragmentan en gran medida la cobertura de bosque.

En cuanto a la relación que se tiene con el presente estudio, este trabajo se enfoca en un área que se encuentra ubicada en el municipio de Puerto Leguizamo, formando parte de la selva Amazónica, además de la proximidad entre el asentamiento La Tagua y el Parque Nacional Natural La Paya; Además, la metodología aplicada en el estudio de Espinoza (2022) coincide con las técnicas de teledetección como la descarga de imágenes satelitales y el procesamiento de las mismas, y luego el análisis de cambios detectados en un periodo de tiempo determinado en la Tagua.

De igual manera, la identificación de las causas como la colonización de asentamientos ilegales, los cultivos ilícitos y otros, podrían dar indicios de posibles factores que pueden darse en la zona de estudio que será analizada.

De forma complementaria, Calderón y Córdoba (2022), con base en el documento “Análisis espacio-temporal de la cobertura forestal empleando imágenes SAR y ópticas a través de la plataforma Google Earth Engine”, se identificó focos críticos de deforestación, corroborando los informes del IDEAM que señalan a la Amazonía como la región con mayor aumento de superficie deforestada. La iniciativa de este estudio surgió como respuesta a la necesidad de monitorear con precisión las transformaciones en la cobertura forestal de zonas sensibles como la Amazonía colombiana frente a amenazas como la deforestación ilegal, la ganadería extensiva, y el impacto del posconflicto armado, evidenciando la urgencia de generar información confiable para apoyar la gestión ambiental y territorial en áreas remotas donde el monitoreo presencial es limitado.

En este sentido, la metodología del estudio se realizó utilizando una combinación de tecnologías de percepción remota como imágenes satelitales de Landsat 8 y radar Sentinel-1 y aprendizaje automático mediante la plataforma de procesamiento y análisis Google Earth Engine (GEE), se llevó a cabo una clasificación supervisada con Random Forest, permitiendo diferenciar clases temáticas de bosque, no bosque y áreas deforestadas, para la validación de los datos se realizó una evaluación de precisión mediante una matriz de confusión, Índice de Kappa y la precisión del usuario y del productor, y por último, se aplicó un preprocesamiento para reducir el ruido speckle en imágenes SAR y mejorar la interpretación mediante la fusión con imágenes ópticas. Es pertinente señalar que, estas imágenes permitieron detectar vegetación inundada y otras

coberturas donde las ópticas presentaban limitaciones, mostrando la complementariedad de los sensores.

De acuerdo a la metodología establecida los resultados obtenidos identificaron un núcleo de deforestación activo en 2020, con extensión aproximada de 15 km por 4 km. Sumado a ello, se cuantificaron las áreas afectadas hasta agosto de 2021, observándose una pérdida de cobertura forestal significativa.

En concordancia con el trabajo de grado, la presente investigación utiliza herramientas replicables en el área de La Tagua (Putumayo) para evaluar la evolución de la deforestación antes y después de la sentencia (2016–2023). Así mismo, permite correlacionar las medidas de conservación ordenadas en la sentencia con la realidad espacial del territorio, a través de imágenes satelitales y algoritmos avanzados facilitando la identificación de núcleos críticos de deforestación, lo que apoya el monitoreo del cumplimiento de las disposiciones legales y el diseño de estrategias correctivas.

Asimismo, el estudio de Hurtado y Lizarazo (2022), se destaca la gran problemática de la deforestación, con tasas cada vez más aceleradas y pérdidas de bosques que afectan el equilibrio ambiental. Colombia, con un vasto territorio boscoso, también es uno de los países con las tasas más altas de deforestación. En el estudio, se pretende generar un índice espectral y temporal con la capacidad de extraer áreas deforestadas en un rango de tiempo y zona de interés mediante imágenes Landsat, lo cual permitió la identificación de pérdida de cobertura forestal en la Amazonía colombiana entre los años 2000 a 2017.

La base metodológica de este estudio, se basa en dos fases principales: primero, se hace un análisis de series temporales mediante la herramienta o algoritmo LandTrendr de Google Earth Engine, siendo su función principal, identificar cambios en la cobertura forestal a lo largo del tiempo; Segundo, mediante la formulación del índice MDDI (Índice de deforestación de diferencia multitemporal), esto hace referencia a una ecuación matemática que integra diferentes bandas espectrales para calcular un indicador de cambios o de perturbación sobre la cobertura boscosa.

En este proceso metodológico, se incluyeron la generación de mosaicos temporales, la selección de muestras aleatorias en áreas con pérdida de bosque y la validación del índice en diferentes zonas del área de estudio.

A partir de ello, el índice MDDI, permitió observar con exactitud de al menos el 80% en la identificación de áreas deforestadas. Además de ello, se logró mediante este mismo índice detectar

qué áreas forestales podrían regenerarse. También se logró corroborar que dicho índice no solamente podría aplicarse a zonas de estudio generalmente boscosas, sino también a otro tipo de ecosistemas como por ejemplo a otras regiones como el Caribe hacia las zonas de bosque seco y el bosque húmedo del Catatumbo, mostrando un alto porcentaje de exactitud cercana al 80%.

Este estudio se relaciona estrechamente con el presente trabajo de investigación, puesto que al ser una metodología adaptable de utilización de series temporales y algoritmos como el LandTrendr la cual puede ser aplicada a imágenes de PlanetScope para poder detectar cambios en la cobertura forestal; De igual manera, el índice MDDI ofrece una herramienta útil para la cuantificación de áreas deforestadas, lo cual es primordial para determinar las áreas con mayor cantidad de deforestación en el centro poblado de la Tagua en Puerto Leguizamo.

Espejo (2016), desarrolla una metodología implementada en un entorno orientado a objetos geográficos (GEOBIA) con el fin de cuantificar las dinámicas espaciotemporales de la cobertura de bosque utilizando imágenes Landsat. En el estudio, se utilizaron datos históricos de los mapas de Bosque y No Bosque del IDEAM, utilizando además 4 algoritmos de aprendizaje de máquina (Machine Learning): Máquinas de Soporte Vectorial (SVM), Árboles de Decisión (DT), Bosques Aleatorios (RF) y K-Nearest Neighbor (KNN). Se formuló, además, un marco metodológico para la generación de objetos de deforestación, los cuales fueron evaluados en términos de exactitud integral orientada a objetos. En este estudio, además, se recalca que la importancia del monitoreo de la extensión y cambio de las áreas de bosque radica en la importancia de estos ecosistemas en términos de servicios que proveen para la humanidad, tanto en bienes tangibles como maderas y recreación, como en servicios ecosistémicos intangibles, como la regulación climática, la biodiversidad y la protección y regulación del ciclo del agua. Los resultados obtenidos permiten concluir que una metodología de detección de cambios completamente orientada a objetos facilita el modelamiento de las características temáticas, geométricas y temporales para el análisis de cambios en las coberturas de la tierra, y que los conceptos de análisis y modelamiento espacial de procesos cartográficos pueden implementarse en el mismo proceso de clasificación de la serie de tiempo.

En estudios como el de Hurtado (2016) se reafirma lo anteriormente mencionado, en su estudio, su objetivo principal es evaluar y cuantificar la tasa de deforestación ocurrida entre los años 2010 a 2015 en los departamentos de Guaviare y Meta, mediante el análisis de imágenes satelitales Landsat y la aplicación del modelo AutoMCU, lo cual hace referencia a la Segregación

Espectral Automatizada de Monte Carlo para obtener mapas de cobertura fraccional, identificando tres componentes principales en cada píxel:

- Vegetación fotosintética (VF): Representa la vegetación viva con actividad fotosintética.
- Vegetación no fotosintética (VNF): Incluye material vegetal muerto o en descomposición.
- El Sustrato expuesto (S): Corresponde a suelos desnudos, rocas o infraestructura correspondientes a asentamientos humanos.

Luego de establecer estos parámetros en cada imagen, se realizó la clasificación de cobertura boscosa, identificando 2 umbrales específicos:

- Bosque: los cuales se identificaron de esta manera con porcentajes en los componentes de Vegetación Fotosintética (VF) con valores del 80% y más y con un porcentaje de Sustrato expuesto (S) menor al 20%.
- No Bosque: Los cuales corresponden al porcentaje Vegetación Fotosintética menor al 80% y con un porcentaje de Sustrato expuesto (S) mayor o igual al 20%

Finalmente, lo que se procedió a realizar fue un análisis multitemporal, al hacer la comparación de los mapas de cobertura fraccional entre el 2010 a 2015, identificando las áreas deforestadas en este periodo de tiempo.

Los resultados obtenidos en dicho estudio, fue que hubo una pérdida de bosque de aproximadamente 10,576 hectáreas entre el periodo comprendido entre 2010 a 2015, lo que representa un 0.23% del área total analizada. Además, las zonas con mayor deforestación se localizaron en zonas aledañas a los ríos hacia el sur del departamento del Guaviare y en sectores cercanos al departamento del Caquetá.

De igual manera, es importante resaltar que, el análisis de este estudio, concluyó que existe una estrecha relación espacial entre las áreas deforestadas, indicando patrones asociados a actividades antrópicas como la tala indiscriminada y la expansión de la frontera agrícola, entre otras.

1.1.1 Evaluaciones críticas sobre la sentencia 4360 de 2018

Los estudios espaciales revisados evidencian patrones persistentes de deforestación en la Amazonía colombiana, incluso en áreas con presencia institucional declarada o figuras de protección ambiental. Esta continuidad en la pérdida de cobertura boscosa plantea interrogantes sobre la eficacia de las medidas existentes para contener el fenómeno. En este contexto, resulta fundamental examinar el alcance y la consistencia de instrumentos jurídicos como la Sentencia STC 4360 de 2018, cuyo objetivo es garantizar la protección efectiva del ecosistema amazónico. A continuación, se presentan antecedentes que permiten evaluar críticamente su fundamentación, los obstáculos para su implementación y su incidencia real en el control de la deforestación.

Asúnsolo (2020), en su estudio titulado “La protección del medio ambiente como un derecho humano: Análisis argumentativo de la Sentencia STC 4360-2018”, desarrolló un análisis jurídico y filosófico detallado de la mencionada sentencia, cuyo propósito central fue examinar los fundamentos argumentativos que sustentan la protección del medio ambiente como un derecho humano y, particularmente, el reconocimiento de la Amazonía como sujeto de derechos. El autor no se detuvo en los aspectos procesales del caso, sino que se enfocó en el contenido sustancial del fallo, destacando tres ejes fundamentales: la idoneidad del mecanismo de tutela frente a la acción popular, la fundamentación del reconocimiento de los derechos de las generaciones futuras y la argumentación en torno a la declaratoria de la Amazonía como sujeto de derechos. Para ello, empleó una metodología de análisis dogmático-argumentativo apoyado en la teoría de la argumentación jurídica, especialmente en los aportes de autores como Lifante, Atienza, Alexy y Nino, para evaluar la racionalidad de los argumentos judiciales. Como resultado, el autor identificó importantes debilidades estructurales en la sentencia. En primer lugar, argumenta que la Corte Suprema no desarrolló adecuadamente la conexión entre la afectación del medio ambiente y los derechos fundamentales invocados por los accionantes (niños y adolescentes de distintas regiones del país), omitiendo un análisis detallado del vínculo concreto entre la deforestación de la Amazonía y los derechos fundamentales como la salud, el agua o la vida digna. En segundo lugar, critica que la fundamentación del derecho de las generaciones futuras se haya basado exclusivamente en el principio de solidaridad, al considerar que este enfoque, aunque moralmente valioso, puede resultar débil jurídicamente si no se complementa con valores como la igualdad o el principio de autonomía personal, que permiten una mejor distribución de responsabilidades

frente a la crisis ecológica. Finalmente, cuestiona la decisión de declarar a la Amazonía como sujeto de derechos sin una delimitación clara sobre el tipo de derechos implicados ni sobre cómo esta categoría supera en eficacia a otras ya existentes como las áreas protegidas o los regímenes constitucionales de bienes comunes. En relación con la presente investigación en el centro poblado de La Tagua, municipio de Puerto Leguizamo, este estudio aporta elementos clave para el análisis crítico de la Sentencia 4360 de 2018, permitiendo contrastar su fuerza normativa con su implementación territorial. El enfoque argumentativo y filosófico de Asúnsolo complementa el análisis empírico y espacial de la deforestación, ya que pone en evidencia que, más allá de la existencia de un marco jurídico progresista, como el del fallo 4360, su efectividad depende de la capacidad del Estado y la sociedad para traducir esos principios en acciones concretas, articuladas y medibles en territorios altamente presionados por actividades como la tala, los cultivos ilícitos y la ganadería extensiva, como ocurre precisamente en La Tagua. Por ello, este antecedente no solo contextualiza la dimensión legal de tu investigación, sino que fortalece el análisis crítico al evaluar si la sentencia ha sido eficaz como instrumento real de control de la deforestación en un territorio concreto de la Amazonía colombiana.

Por su parte, Arroyave et al. (2021) profundizan en este análisis, analizando el reconocimiento de la selva amazónica como sujeto de derechos, con base en el fallo de la Corte Suprema de Justicia (STC 4360 de 2018). Examina los derechos bioculturales y de las generaciones futuras, evaluando la efectividad de los instrumentos jurídicos para la reducción de la deforestación. En este estudio se pone en contexto el caso de San Vicente del Caguán, donde la baja presencia estatal ha desencadenado una depredación intensa de la naturaleza, criticando el fallo de la Corte objeto de este estudio, centrándose en la baja implementación de acciones por parte de las autoridades territoriales y ambientales del municipio, analizando además los factores que afectan la implementación de medidas de conservación desde la mirada de las comunidades presentes y organizaciones ambientales.

Este enfoque resulta altamente relevante para esta investigación, en tanto permite establecer paralelos directos con lo ocurrido en el centro poblado de La Tagua, municipio de Puerto Leguizamo, donde también se evidencia una limitada capacidad institucional para implementar de manera efectiva las medidas derivadas de la Sentencia 4360. La similitud en los contextos territoriales, el abandono estatal y la presión sobre los ecosistemas amazónicos brindan insumos clave para comprender las barreras estructurales que impiden el cumplimiento de los mandatos

judiciales en regiones periféricas. Asimismo, este estudio contribuye a fortalecer el análisis sobre la eficacia territorial del reconocimiento jurídico de la naturaleza, a través del contraste entre el contenido normativo del fallo y las realidades locales en zonas de alta conflictividad ambiental.

El análisis de la Sentencia 4360 de 2018 ayuda a comprender la relación existente entre los humanos y la naturaleza. Tradicionalmente, se ha pensado que las personas están en el centro de todo (antropocentrismo), lo que ha llevado a explotar los recursos naturales de manera desmesurada. Según la Corte, este enfoque ha provocado daños irreversibles en los ecosistemas. En contraste, el ecocentrismo propone que la naturaleza tiene un valor propio, más allá de lo que pueda ofrecernos, y que debemos respetarla y protegerla por lo que es, no solo por su utilidad para los seres humanos. Este modelo promueve una relación armónica y sostenible entre los humanos y el ambiente, priorizando la protección y el equilibrio de los ecosistemas como una necesidad vital para garantizar el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

Este estudio se centra en la importancia de un cambio hacia un modelo que armonice la protección ambiental con los derechos humanos. Al analizar cómo las instituciones han respondido y las entrevistas realizadas en San Vicente del Caguán, se encontraron tanto avances como retrocesos en la aplicación de órdenes judiciales. Entre los aciertos, se destacan el inicio de procesos para monitorear el medio ambiente, así como las campañas de concienciación en las comunidades locales. A pesar de todo, aún hay grandes desafíos, como la falta de recursos, la fragilidad institucional y la poca coordinación entre las entidades encargadas de ejecutar las medidas.

El análisis de la sentencia permite profundizar en la transición conceptual que busca el fallo hacia un modelo "ecocéntrico-antrópico". El antropocentrismo, tradicionalmente predominante, posiciona a los seres humanos como el centro del universo, justificando la explotación de los recursos naturales para satisfacer necesidades humanas. Este enfoque, según lo plantea la Corte, ha llevado a un uso desmedido de los recursos, generando consecuencias irreversibles en los ecosistemas. En contraposición, el ecocentrismo aboga por un reconocimiento del valor intrínseco de la naturaleza, independiente de su utilidad para el ser humano. Este paradigma promueve una relación armónica y sostenible entre los humanos y el ambiente, priorizando la protección y el equilibrio de los ecosistemas como una necesidad vital para garantizar el bienestar de las generaciones presentes y futuras. Este trabajo resalta la necesidad de un cambio hacia un modelo "ecocéntrico-antrópico" que integre la protección de la naturaleza con los derechos humanos, un

enfoque relevante para el presente estudio. El análisis de las respuestas institucionales y las entrevistas realizadas en San Vicente del Caguán revela avances y limitaciones significativas en la implementación de las órdenes judiciales. Entre los hallazgos positivos, destacan el inicio de procesos de monitoreo ambiental y las campañas de sensibilización en comunidades locales. Sin embargo, se identificaron problemas relacionados con la falta de recursos, la debilidad institucional y la ausencia de una articulación efectiva entre las entidades involucradas.

Sumado a lo anterior, las comunidades locales han manifestado su inminente preocupación por la carencia de una consulta previa efectiva, un proceso que debería involucrar a todos los actores directamente afectados por las intervenciones en sus territorios. Esta ausencia de diálogo se suma a la insuficiencia de medidas concretas destinadas a frenar la deforestación, situación que se agrava en aquellas zonas donde las actividades ilícitas y el avance de la frontera agrícola han alterado de manera significativa el equilibrio ecológico. Estos impactos se traducen en un creciente deterioro de los ecosistemas y en una mayor fragilidad social en regiones ya afectadas por múltiples problemáticas.

La investigación destaca además un hito relevante: el reconocimiento de la selva amazónica como sujeto de derechos, un nuevo paradigma en el que la naturaleza es considerada como un ente con derechos inherentes, contribuyendo a una gestión más equitativa y sostenible del territorio no solamente desde el fortalecimiento de la protección del medio ambiente, sino que también promueve un diálogo más inclusivo y respetuoso entre el Estado, las comunidades y los diversos actores que inciden en la dinámica territorial de la Amazonía. No obstante, su efectividad depende de la implementación real de las medidas ordenadas y del fortalecimiento de las instituciones responsables. La participación activa de las comunidades locales y un cambio hacia un modelo ético más inclusivo son esenciales para garantizar la sostenibilidad del ecosistema amazónico y el cumplimiento de los compromisos ambientales internacionales del país.

En línea con estas preocupaciones Libreros (2020), en su trabajo titulado “Análisis de las dinámicas de la deforestación en la última década de los bosques de la Amazonia colombiana”, desarrolló un estudio cualitativo-descriptivo con enfoque documental, cuyo propósito fue analizar las transformaciones que han sufrido los bosques amazónicos entre 2010 y 2019, identificando las causas directas e indirectas de la deforestación y sus impactos ambientales, sociales y territoriales. Para ello, realizó una revisión sistemática de fuentes internacionales, nacionales y regionales, incluyendo informes del IDEAM, FAO, SINCHI y literatura académica, categorizando los

hallazgos por períodos anuales, causas, consecuencias y respuestas institucionales. Entre los resultados más relevantes se encuentra la identificación de una tendencia creciente de pérdida de cobertura boscosa, con un pico crítico en 2017, año en el cual se deforestaron 144.147 hectáreas en la región amazónica, equivalente al 65,5% del total nacional, siendo los departamentos de Caquetá, Meta, Guaviare y Putumayo los más afectados. Se evidencia además una recurrencia de focos de calor más de 50.000 entre 2018 y 2019, asociada a incendios forestales que se combinan con la expansión de la frontera agropecuaria, los cultivos ilícitos y la presión minera. El estudio identifica causas directas como la ganadería extensiva (responsable del 60% de la deforestación nacional), la extracción comercial de madera, la apertura de carreteras y las actividades agropecuarias de subsistencia, así como causas adyacentes como la baja gobernanza, la pobreza, el conflicto armado y las políticas públicas mal diseñadas que, paradójicamente, han incentivado la transformación del bosque en áreas productivas. Las consecuencias analizadas abarcan desde la erosión del suelo, alteraciones climáticas, pérdida de biodiversidad, liberación de carbono, afectaciones a la salud humana y desplazamientos forzados, hasta la pérdida de legitimidad institucional en regiones donde el abandono del Estado ha sido sistemático. Este antecedente resulta fundamental para esta investigación, ya que ofrece una contextualización precisa del comportamiento multicausal de la deforestación en el sur del país, especialmente en el departamento del Putumayo, donde se localiza el centro poblado de La Tagua. Al integrar el análisis multitemporal de los últimos diez años con una caracterización de las causas estructurales y consecuencias territoriales, el estudio proporciona insumos clave para evaluar la efectividad de políticas como la Sentencia 4360 de 2018, contribuyendo a dimensionar los desafíos reales que enfrentan los instrumentos jurídicos y ambientales en contextos de alta vulnerabilidad ecológica, social y política.

1.1.2 Estudios comparativos en otras regiones de Colombia

Palacios (2015), realizó un análisis multitemporal con el fin de cuantificar los cambios en la cobertura boscosa en un periodo de tiempo más amplio comprendido entre 1990 y 2014, considerando la alta biodiversidad del Chocó con insumos suministrados por el IDEAM para toda Colombia.

Para lograrlo, su análisis tuvo como base principal la recolección de imágenes satelitales y la aplicación de técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La metodología incluyó lo siguiente: la recolección de datos, principalmente la obtención de imágenes satelitales de los años 1990, 2000, 2005, 2010, 2012 y 2014. Las del año 1990 a 2012 fueron proporcionadas por el IDEAM, y las del año 2014 del sensor RapidEye; luego de esto, se procedió a hacer un pre procesamiento de dichas imágenes como la corrección radiométrica y atmosférica de las mismas mediante el uso del software ERDAS y se realizaron combinaciones de bandas principalmente 4,5,2 y 4,5,3, las cuales son útiles para identificar la clorofila en la biomasa.

Luego de este proceso, se realizó una clasificación supervisada que se basó en la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, tomando muestras representativas para poder identificar diferentes tipos de cobertura y seguido a ello se procedió a hacer el análisis multitemporal al comparar los tipos de cobertura de los diferentes años y de este modo lograr identificar los cambios y tendencias en las zonas degradadas y en la regeneración del bosque. Por último, estos datos tipo raster fueron convertidos a formatos vectoriales con el fin de facilitar la cuantificación y el análisis espacial requerido.

Al finalizar, este estudio concluyó que las áreas deforestadas y regeneradas, se centran espacialmente en los bordes de las áreas cercanas a ríos y quebradas en comparación con las zonas de bosque en la parte interna de la zona de estudio. Mientras que las áreas de regeneración se encontraron en las proximidades en la cabecera municipal de la Ciudad Mutis y en cercanías a las Quebradas Huanca, Rogelio y Nabugá. Sumado a ello, se realizó un análisis con respecto a variables como la sobre explotación forestal, la expansión de la frontera agrícola y la instauración de cultivos ilícitos, como factores principales que contribuyen a la pérdida de bosque en la región estudiada.

De esta manera, este estudio se relaciona con el presente tema de investigación, por cuanto ambos se centran en determinar las áreas críticas de deforestación, en este caso mediante el uso de imágenes Planet Scop Scene entre el 2016 y 2023. El estudio de Palacios es relevante por diferentes razones, entre ellas la metodología aplicada al realizar un análisis multitemporal con técnicas de SIG y de clasificación supervisada la cual puede ser adaptada al presente estudio, a fin de detectar cambios y tendencias espaciales de deforestación; también se puede llegar a identificar los factores que inciden en la deforestación que pueden o no coincidir con los factores de deforestación encontrados en algunas zonas del Chocó entre el periodo de 1990 a 2014. Por último, la conversión

de los datos ráster a vectorial, pueden contribuir de manera eficaz a la cuantificación y localización de las áreas con mayor apreciación de pérdida de bosque.

El uso de imágenes Landsat para este tipo de estudios vuelve a tomar relevancia, tal como lo establecen Ospino y Ramos (2017), en su documento denominado "Identificación de áreas aptas para la reforestación del bosque seco tropical en Córdoba", dicho estudio nace de la necesidad de recuperar el Bosque Seco Tropical (Bs-T), uno de los ecosistemas más degradados de Colombia. El cual se ha visto, gravemente afectado por la expansión de la frontera agrícola, deforestación, ganadería y urbanización, generando pérdida de biodiversidad, fragmentación del hábitat y alteración del equilibrio ecológico.

Para el desarrollo del estudio se tuvo en cuenta diferentes insumos en base a imágenes satelitales Landsat 8 del año 2016, empelando software como ArcGIS 10.1, ENVI 5.3 y ModelBuilder. Para su desarrollo de tomo como base la Clasificación supervisada con método de máxima probabilidad, aplicando teóricamente la metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia. De igual forma, se utilizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI) para validar la salud de la vegetación, y por ende, se llevó a cabo calculó la tasa de deforestación anual y el índice de diversidad de forma de Patton (SI) para analizar la fragmentación de los parches forestales.

Entorno a los métodos utilizados se obtuvieron resultados contundentes que identificaron que, en el año 2016, solo quedaban 19.648,2 ha de Bs-T en Córdoba (1.4% del área de estudio). Identificando 11.443 parches con una alta fragmentación: más del 60% de ellos eran extremadamente pequeños (menores a 1 ha). Lo anteriormente mencionado, refleja una tasa de deforestación de 2.75% anual, una cifra alarmante para un ecosistema crítico priorizando zonas con fragmentación alta y cercanía a fuentes hídricas y centros poblados.

Por consiguiente, este estudio es una referencia clave para analizar la deforestación en el contexto amazónico. El análisis de fragmentación, NDVI y clasificación supervisada puede adaptarse directamente a evaluar la evolución del bosque amazónico entre diferentes rangos de tiempo, fomentando a comprender la efectividad de medidas legales en frenar la expansión agrícola que impulsa la deforestación.

De acuerdo con Clavijo et al (2016), en su documento denominado "Detección Directa de Cambios de las Coberturas Boscosas en la Cuenca Baja del Río Cravo Sur", mediante técnicas de detección directa de cambios utilizando imágenes satelitales Landsat para los años 1990, 2000 y

2016. Esta investigación buscó identificar áreas con pérdida, ganancia o estabilidad de cobertura boscosa, para así establecer tendencias claras de deforestación en el área.

La ejecución del estudio, fue motivado por la creciente presión sobre los bosques de la zona baja de la cuenca, debido a actividades agrícolas, ganaderas e industriales, además de la falta de estudios detallados sobre esa subregión identificando una problemática crítica que amenaza la sostenibilidad ambiental del territorio. En este orden de ideas, la investigación se fundamentó en herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de teledetección, utilizando principalmente imágenes de los satélites Landsat 5, 7 y 8. Se implementaron los siguientes pasos metodológicos: Preprocesamiento de imágenes: correcciones atmosféricas, conversión de niveles digitales a valores de reflectancia y georreferenciación; Análisis de Componentes Principales (ACP): utilizado para identificar y sintetizar las variaciones espectrales relevantes en las imágenes, lo cual permitió distinguir entre coberturas de bosque y no bosque; Comparación post-clasificación: se contrastaron mapas temáticos de diferentes fechas para determinar las zonas afectadas por deforestación o regeneración y por último, la Evaluación de exactitud temática: donde se aplicaron medidas estadísticas para validar los resultados obtenidos.

De acuerdo a la metodología establecida, los resultados obtenidos identificaron una pérdida de cobertura boscosa en dos periodos: entre 1990 y 2000: pérdida del 39,62% (12.507,96 ha), 2000 y 2016: pérdida del 39,12% (12.832,37 ha), las zonas de mayor deforestación coincidieron con áreas cercanas a cuerpos de agua, así como zonas de intensa actividad agroindustrial. Pese a estas pérdidas, también se registró una tendencia de regeneración progresiva de los bosques (incremento anual promedio del 0,31%).

En similitud con el trabajo de grado llevado a cabo en el momento la metodología como el enfoque de estudio se relacionan de manera directa puesto que, el uso de SIG y análisis multitemporal de imágenes satelitales permite evaluar con precisión los efectos de políticas sobre el territorio, como la Sentencia 4360 de 2018. Así como también el estudio demuestra la importancia de evidenciar espacialmente la transformación del paisaje para tomar decisiones sobre conservación, restauración y vigilancia ambiental, lo cual se alinea con el establecimiento de la Sentencia 4360.

Según Arrieta (2015), en su documento denominado “Estimación de la deforestación en el departamento del Chocó utilizando el mapa de cobertura forestal/no forestal de la Agencia Espacial JAXA”, se refleja una preocupación inminente por monitorear la deforestación en zonas de alta

biodiversidad y amenaza ambiental, como el departamento del Chocó, parte del corredor Chocó-Darién. Esta región enfrenta fuertes presiones por minería, expansión agrícola, ganadería, y construcción de infraestructura. Por lo cual con el desarrollo de la investigación se buscó medir la deforestación en un periodo específico (2007–2010), usando tecnología satelital de radar, ante la dificultad de obtener imágenes ópticas en zonas muy nubladas.

En este sentido, se utilizaron imágenes SAR (radar) del satélite ALOS PALSAR sensores adecuados para regiones de alta nubosidad, seguido a ello dentro del geoprosesamiento se utilizó la clasificación de coberturas en cuatro clases: bosque, no bosque, agua y sin datos. Así como también, se generó una vectorización de los mosaicos de los años 2007 y 2010 para cuantificación, calculando de esta manera, una tasa de deforestación con la fórmula de Puyravaud, adoptada por el IDEAM. El resultado de estos datos identificó una pérdida neta de bosque de 2.99 ha entre 2007 y 2010, la cual se relaciona principalmente con procesos de cambio de uso de suelo para actividades como la agricultura, la ganadería, los cultivos ilícitos y la minería. Por otra parte, se estimó una tasa de deforestación del -0.225% anual, lo cual, aunque bajo, confirma pérdida de cobertura forestal la cual se concentró en el nororiente del Chocó, principalmente en municipios afectados por minería.

De acuerdo al desarrollo de la investigación anteriormente descrita se evidencia una metodología enfoque técnico directamente aplicables al área de estudio en ejecución, puesto que, se identifica una tecnología replicable como lo es el uso de imágenes radar (útiles en regiones nubladas como Putumayo) permitiendo evaluar deforestación en áreas con mayor convergencia de nubosidad. Así mismo, la medición de tasas de cambio forestal con la fórmula de Puyravaud puede ser aplicada al período 2016–2023 en La Tagua para evaluar el impacto de la Sentencia 4360. Y un aspecto clave es el análisis espacial vinculado a causas, tal como en el Chocó se identificaron causas de deforestación (minería, agricultura), en La Tagua podrían evaluarse presiones similares para ver si han sido contenidas por la implementación de medidas derivadas de la sentencia.

1.1.3 Propuestas integradoras desde la planificación y gobernanza ambiental

Mateus (2019), en su estudio titulado “La deforestación en Colombia - Propuestas para la mitigación de sus efectos”, desarrolló un análisis integral orientado a comprender las causas y consecuencias de la deforestación en Colombia, así como proponer alternativas para mitigar sus

efectos negativos sobre el medio ambiente, la biodiversidad y las comunidades locales. El propósito central del artículo fue visibilizar el impacto progresivo de la pérdida de cobertura boscosa en las distintas regiones del país con especial énfasis en la Amazonía y construir un enfoque de síntesis sobre las medidas de mitigación que deben implementarse a corto y largo plazo.

Los objetivos principales fueron identificar las causas directas e indirectas de la deforestación, reconocer sus efectos ambientales, sociales y económicos, y proponer líneas de acción para la restauración y conservación de los ecosistemas forestales. En cuanto a la metodología, el estudio se basó en una revisión documental de fuentes secundarias, incluyendo datos oficiales del IDEAM, FAO, ONU-REDD y el Ministerio de Ambiente, entre otros, abarcando el periodo entre 2000 y 2019. Se aplicó un análisis cualitativo de contenido a publicaciones científicas, boletines técnicos e informes institucionales, complementado con una discusión crítica sobre las variables sociales, económicas y políticas que inciden en el fenómeno.

Los resultados revelan una pérdida acumulada de más de seis millones de hectáreas de bosque entre 1990 y 2016, con tasas anuales cercanas a las 500.000 hectáreas en décadas pasadas y un incremento alarmante en la Amazonía entre 2016 y 2017, donde la deforestación pasó de 77.000 a 144.000 hectáreas en solo un año. El estudio destaca que el Putumayo, junto con Caquetá, Meta y Guaviare, figura entre los departamentos con mayor incidencia, siendo los municipios más afectados aquellos históricamente marcados por el conflicto armado y actividades ilegales. Se identifican como causas directas la ganadería extensiva, los cultivos ilícitos, la tala ilegal, la minería y la expansión de infraestructura vial; mientras que las causas subyacentes están ligadas a la debilidad institucional, la falta de gobernanza, la presión demográfica, los modelos económicos extractivos y la desigualdad en la distribución de tierras.

La autora señala que los impactos ambientales incluyen pérdida de biodiversidad, erosión del suelo, alteración de los ciclos hídricos, incremento de emisiones de gases de efecto invernadero y desertificación, mientras que los impactos sociales abarcan desplazamientos, pérdida de medios de vida, conflictos por uso de recursos y debilitamiento cultural de comunidades indígenas y rurales. Entre las medidas analizadas para mitigar los efectos de la deforestación se encuentran el fortalecimiento de las áreas protegidas (que muestran hasta 25 veces menos deforestación), el papel de los resguardos indígenas, y la necesidad urgente de financiamiento, articulación institucional y participación comunitaria para implementar soluciones sostenibles y eficaces.

Este antecedente es altamente relevante para esta investigación, ya que ofrece un panorama actualizado y documentado sobre las causas multicausales de la deforestación en Colombia y particularmente en la región amazónica, validando tanto la escala del problema como la necesidad de medidas territoriales adaptadas al contexto social, político y ecológico. Además, aporta insumos clave para evaluar el alcance de las políticas ambientales actuales, como la Sentencia 4360 de 2018, dentro de territorios donde persisten dinámicas estructurales de presión sobre los bosques, y apoya el uso de análisis multitemporal como herramienta para evidenciar estas transformaciones.

Amaya y Gutiérrez (2023) implementan un Sistema de Información Geográfica (SIG) llamado "Amazonas bajo Amenaza", que permite analizar y visualizar las presiones y amenazas sobre la Amazonía colombiana a partir de un modelo multicriterio espacio-temporal. En este estudio se analiza la deforestación, los incendios forestales, la minería, la extensión agrícola, la infraestructura vial y la exploración de hidrocarburos como una potencial amenaza para la Amazonía, ya que estas actividades tienen efectos perjudiciales sobre la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y las comunidades indígenas que viven en la zona. El SIG implementado superpone capas geográficas, con información obtenida de títulos mineros, áreas para la explotación de hidrocarburos, incendios, coberturas no forestales y redes de infraestructura vial. Se utilizó el modelo del Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) para desarrollar este sistema, que construyó una capa de vulnerabilidad para clasificar los niveles de riesgo e identificar áreas críticas. Además, el proyecto siguió las metodologías RUP (Proceso Unificado Racional), que han pasado por iteraciones de fases de concepción, diseño, construcción y transición. Estas metodologías se centran en un usuario interactuando con el sistema. Así, se creó una herramienta web interactiva para visualizar mapas, consultar atributos, filtrar capas y realizar análisis espacio-temporales. El sistema combina con bases de datos geospaciales en PostgreSQL/PostGIS y utiliza servidores Geoserver para publicar datos. Su viabilidad y uso se evaluó bajo los principios heurísticos de Nielsen, identificando oportunidades de mejora en la funcionalidad y el diseño de la interfaz. Las herramientas y metodologías descritas pueden adaptarse para analizar los impactos de las actividades humanas en municipios específicos, así como para evaluar la efectividad de políticas ambientales en el marco de la Sentencia 4360 de 2018. La capacidad del sistema para combinar datos espaciales y no espaciales lo convierte en una referencia ideal para la toma de decisiones en el manejo sostenible de la Amazonía.

En su trabajo Cuellar (2024), denominado "Análisis multitemporal de la expansión de la frontera agrícola en el Parque Natural Municipal La Correntosa", analiza las diferentes causas antrópicas que han conllevado a aumentar significativamente la deforestación en esta zona. El estudio se llevó a cabo entorno a las repercusiones que conlleva el avance de la frontera agrícola en el Parque Natural Municipal La Correntosa, una zona clave para el abastecimiento de agua potable en Acevedo (Huila), y parte de la Reserva Forestal de la Amazonía, lo cual nos da indicios de que la deforestación se presenta incluso en áreas con regímenes de uso especiales, los cuales están siendo impactados por actividades agropecuarias y extracción de especies maderables.

En este orden de ideas, de acuerdo a los parámetros establecidos en la metodología con un enfoque cuantitativo correlacional, se determinaron diferentes fases de acuerdo a cada uno de sus objetivos. En primera instancia, una identificación de coberturas vegetales mediante imágenes satelitales Landsat, Sentinel y PlanetScope. Como segundo punto, la implementación de la metodología Corine Land Cover (MCLC), clasificando coberturas en categorías como Bosque Denso y Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales. Y por último se generó una evaluación de cambios en las coberturas y análisis de expansión agrícola. En concordancia con los objetivos los análisis dispuestos para la obtención de los resultados se basaron en: Clasificación supervisada con entrenamiento espectral y uso del método de máxima probabilidad; NDVI e análisis de componentes principales (PCA) para evaluar la salud y cambios de vegetación. Y validación mediante matrices de confusión y puntos de control de calidad.

De acuerdo a la metodología establecida se identificaron los siguientes resultados: entre 2000 y 2023, se registró un cambio de 56 hectáreas de Bosque Denso hacia Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales, como principal foco de deforestación se identificó la expansión de la frontera agrícola la cual creció de 72 hectáreas en 2000 a 90 hectáreas en 2023 dentro del área de estudio, evidenciando un aumento significativo hacia áreas protegidas implicando una pérdida progresiva de cobertura vegetal y presión creciente sobre los ecosistemas del parque.

Este estudio es metodológicamente útil como modelo de referencia para el desarrollo del trabajo de grado, puesto que evalúa las tendencias espaciales de deforestación a través del tiempo, aplicando metodologías (MCLC) en otras áreas amazónicas, como La Tagua (Putumayo), proporcionando de esta manera líneas base para monitoreo y cumplimiento legal, en especial en territorios donde se implementan medidas derivadas de la Sentencia 4360.

A nivel nacional, según datos del IDEAM (2021), municipios como el Meta, Caquetá, Guaviare, Putumayo y Antioquia concentran el 70% de la deforestación. Para su análisis, se tomó como método principal el análisis de imágenes satelitales Landsat 8 y 9, con una resolución espacial de 30 metros, lo que contribuyó a la clasificación de coberturas boscosas y no boscosas. Para ello, se usó la técnica de clasificación supervisada, tomando imágenes con menos nubosidad para poder identificar con mayor precisión las zonas deforestadas. Además, se utilizó herramientas como Python y QGIS para el uso de índices de vegetación; los resultados muestran que, durante el periodo analizado, hubo una pérdida total de 4,428.71 ha de cobertura de bosque, con una tasa promedio al año de 885.74 ha. Al final del estudio se concluyó que los modelos de clasificación supervisada son herramientas efectivas y de bajo costo para monitorear la deforestación, aunque su precisión puede verse afectada por la resolución espacial de las imágenes satelitales y la interferencia de factores climáticos. Los datos generados son útiles para diseñar políticas ambientales más efectivas, pero sería ideal complementarlos con información de mayor resolución. Este trabajo, se relaciona estrechamente con el estudio en desarrollo, dado que ambos comparten un enfoque metodológico que se basa en el análisis multitemporal con el uso de imágenes satelitales y herramientas como la clasificación supervisada en Qgis para el monitoreo de la deforestación. Además, se observa una similitud geográfica, ya que el estudio se centra en el Putumayo, parte de la Amazonía colombiana, lo que permite extrapolar las experiencias y metodologías a municipios como Leguizamo, que enfrentan problemáticas similares. También se complementa con el contexto jurídico de la Sentencia STC 4360 de 2018, ampliando el análisis hacia la evaluación de la efectividad de las medidas sancionatorias y políticas de conservación. La experiencia documentada en el artículo sobre la clasificación supervisada y la corrección de errores será crucial para perfeccionar el modelo de análisis en el trabajo en desarrollo.

El análisis presentado por Pérez (2020), en su artículo aborda el monitoreo de cambios de coberturas en dos áreas de compensación forestal en los municipios de La Cumbre y Dagua, en el Valle del Cauca, durante un período de siete años (2013, 2014 y 2020)

Para su desarrollo, se utilizó imágenes satelitales de libre descarga de Landsat 8 y Sentinel 2; una vez identificadas las imágenes que serían útiles para este estudio, se realizó la corrección atmosférica y radiométrica de las mismas, puesto que vienen dadas en valores de niveles digitales los cuales deben ser convertidos a valores de reflectancia de superficie.

A partir de esto, se realizó una clasificación de coberturas mediante el uso de la metodología de clasificación supervisada, este tipo de clasificación requiere del conocimiento de la zona de estudio al realizar trabajo de campo.

En ese orden de ideas, lo siguiente fue tomar en cuenta la leyenda Corine Land Cover para Colombia, con el propósito de realizar el inventario homogéneo de la cubierta biofísica (cobertura) de la superficie de la tierra partir de la interpretación de las imágenes satelitales mediante software.

Luego de esto, se procedió a hacer la generación de coberturas para los años 2013 y 2014 y mapa de coberturas de primer trimestre para el año 2020 y su posterior análisis multitemporal, para finalmente elaborar mapas temáticos de los cambios de cobertura vegetal.

Este estudio logró detectar cambios importantes en las coberturas vegetales debido a la implementación y abandono de medidas de compensación forestal, destacándose aumentos en herbazales, arbustales y bosques fragmentados, pero también un incremento en coberturas no deseadas, como el helechal.

Este antecedente es relevante para el presente proyecto de investigación ya que adopta un enfoque metodológico basado en el análisis multitemporal y utiliza recursos específicos para cada etapa. Por lo tanto, el interés en explicar los cambios de cobertura vegetal ayuda a evaluar el estado del entorno lo cual es imprescindible para implementar estándares de monitoreo exactos. Así mismo, la elección de insumos de imágenes de alta resolución se destaca como un elemento clave al momento de generar productos con alto grado de confiabilidad ya que permite una representación detallada de los cambios en la cobertura vegetal. Esto da la certeza de que la información recopilada y obtenida sea de mayor calidad, lo cual contribuye a generar un análisis riguroso.

Parody y Zapata (2015), en su estudio titulado “Estudio multitemporal de la deforestación en Colombia utilizando procesamiento de imágenes”, se propusieron como propósito central revisar y sistematizar los estudios realizados en Colombia que han utilizado imágenes satelitales o aéreas para analizar la deforestación, con el fin de generar información confiable sobre la distribución y uso de los bosques, y estimar las tasas de pérdida y degradación forestal en diferentes regiones del país.

Entre sus objetivos, se destacó la intención de identificar las tecnologías de percepción remota aplicadas, los enfoques metodológicos empleados, y las instituciones responsables del monitoreo ambiental en el país. Para ello, se adoptó una metodología de tipo descriptivo-documental, basada en la revisión y análisis de 20 trabajos realizados entre 1966 y 2011. De estos,

16 estudios usaron sensores satelitales (principalmente Landsat) y 4 emplearon fotografía aérea. La revisión incluyó tanto estudios desarrollados a escala nacional por entidades como el IDEAM, IGAC, INDERENA y CONIF, como investigaciones regionales adelantadas por autoridades ambientales como CARDER y CVC.

Entre los resultados más destacados del estudio, se encuentra la identificación de una evolución significativa en el uso de tecnologías geoespaciales para el monitoreo forestal. Se evidenció el tránsito desde métodos tradicionales basados en interpretación manual de fotografías, hacia el uso intensivo de sensores remotos, SIG y técnicas automatizadas de procesamiento digital de imágenes. Se documentaron productos como los Mapas de Cobertura del IDEAM (1996), el estudio multitemporal del Sistema Nacional Ambiental (SINA) que cubre el período 2000-2009, y análisis de cobertura vegetal a escalas detalladas como el de la microcuenca El Llanito en Santander, donde se cuantificó la pérdida de 4.618 hectáreas de bosque natural debido a actividades agropecuarias. Igualmente, el informe técnico de 2011 del IDEAM permitió establecer tasas anuales de deforestación para las regiones Caribe, Andina, Orinoquía, Amazonía y Pacífica para los años 1990, 2000, 2005 y 2010, destacando la Amazonía como una de las más afectadas.

Este estudio tiene una relación directa con la presente investigación en el municipio de Puerto Leguizamo, ya que proporciona antecedentes técnicos y metodológicos sólidos sobre el análisis multitemporal de deforestación en Colombia, valida el uso de sensores satelitales (Landsat), y resalta la importancia del procesamiento de imágenes en entornos SIG para identificar patrones de cambio en la cobertura boscosa. Además, permite contextualizar el fenómeno en una línea de tiempo más amplia y aporta elementos claves para evaluar la efectividad de las políticas ambientales como la Sentencia 4360 de 2018, en territorios con alta presión antrópica y ecosistemas estratégicos como los del Putumayo.

Muñoz (2016), en su ensayo “La Amazonía colombiana y su importancia estratégica a nivel internacional”, desarrolló una reflexión crítica sobre el papel de la región amazónica en la configuración geopolítica contemporánea, argumentando que esta zona, por su biodiversidad, riqueza hídrica y potencial en recursos naturales, se ha convertido en un espacio clave para la proyección estratégica de los Estados sudamericanos. El propósito central del estudio fue destacar la importancia de la Amazonía colombiana como un activo ambiental y geopolítico de valor estratégico, promoviendo la necesidad de que el Estado colombiano formule políticas públicas estables y duraderas más allá de los gobiernos de turno orientadas a la protección, recuperación y

conservación de este ecosistema. Entre los objetivos específicos, se propuso caracterizar la región amazónica en términos político-administrativos, resaltar su importancia geopolítica y evaluar los mecanismos de protección existentes a nivel regional (como la OTCA) e internacional. La metodología aplicada fue de carácter cualitativo y documental, sustentada en fuentes institucionales, geográficas y económicas, con énfasis en estudios de la CEPAL, el Banco de la República, el IGAC y organismos internacionales.

Los resultados del análisis evidenciaron que, aunque Colombia posee aproximadamente el 7% de la Amazonía continental y cerca del 50% de su propio territorio nacional corresponde a esta región, el abandono institucional ha permitido el avance de actividades como la tala, la ganadería extensiva, la minería ilegal, y la contaminación por hidrocarburos, además del control territorial ejercido por actores armados ilegales. Esta situación ha debilitado la legitimidad del Estado, generando confianza en grupos ilegales que actúan como "reguladores sociales". Se destaca también la ausencia de un sistema propio de vigilancia y protección de la Amazonía colombiana, en contraste con países como Brasil, que han implementado mecanismos como el SIPAM y SIVAM, orientados al monitoreo ambiental y territorial. A pesar de contar con zonas de reserva, parques naturales y resguardos indígenas, la región carece de articulación efectiva entre ordenamiento territorial, control estatal y protección ambiental. El trabajo concluye que la Amazonía colombiana, por su aporte al equilibrio climático, sus reservas hídricas (incluyendo ríos como el Putumayo, Caquetá y Guainía), y su biodiversidad única con miles de especies vegetales, animales y pueblos indígenas, debería ser tratada como un eje central de la política exterior y de defensa nacional.

Este antecedente es altamente relevante para esta investigación, ya que permite contextualizar la situación territorial e institucional de la región amazónica, en especial en departamentos como Putumayo, donde se encuentra ubicado el centro poblado de La Tagua. La autora argumenta que sin una acción decidida del Estado que combine seguridad, gobernanza y protección ambiental, la Amazonía colombiana continuará siendo objeto de degradación acelerada. Su visión estratégica refuerza el análisis territorial propuesto en esta investigación, que busca evaluar la efectividad de políticas como la Sentencia 4360 de 2018 en la contención de la deforestación y en la garantía de derechos ambientales en zonas históricamente abandonadas y ecológicamente frágiles.

1.1.4 Plataformas internacionales para la detección de la deforestación

A lo largo del territorio nacional se ha observado la afectación de diferentes agentes al medio ambiente, sin embargo, la deforestación constituye una de las principales amenazas para los ecosistemas forestales del planeta, principalmente el territorio colombiano ha sido objeto de tal situación la cual su impacto es particularmente crítico en especial en regiones como la Amazonia.

Este impacto, ha impulsado el desarrollo de plataformas tecnológicas especializadas en su detección y seguimiento. Estas herramientas, como Global Forest Watch (GFW) y Tropical Moist Forests (TMF), han surgido para complementar los sistemas de monitoreo oficiales, proporcionando información precisa y actualizada a partir de imágenes satelitales y análisis geoespaciales, puesto que su implementación ha permitido no solo cuantificar la pérdida de cobertura boscosa, sino también identificar patrones, núcleos activos y posibles causas, facilitando la toma de decisiones orientadas a la conservación y manejo sostenible de los bosques.

En este orden de ideas, en el territorio nacional, esta plataforma ha sido utilizada en múltiples estudios para complementar la información oficial del IDEAM, especialmente en el monitoreo de zonas críticas como la Amazonia. Un ejemplo es el estudio del autor Guerra, (2023), denominado Análisis de la deforestación en el departamento de Caquetá, *donde* los datos de GFW permitieron cuantificar que entre 2000 y 2020 se perdió aproximadamente un 5,6 % de su cobertura arbórea, equivalente a 427 mil hectáreas. Asimismo, para el periodo 2016–2021, la pérdida de bosque primario húmedo ascendió a 220 mil hectáreas, representando el 75 % de la pérdida total de cobertura arbórea registrada en ese intervalo. Estos datos evidencian que gran parte de la deforestación reciente se concentra dentro de áreas de bosque natural, lo que supone una afectación directa sobre ecosistemas de alto valor ecológico.

Ante estos resultados la accesibilidad y posibilidad de visualizar y descargar información de forma rápida, desde las plataformas nacionales ha permitido que investigadores y comunidades puedan identificar patrones espaciales y temporales de deforestación. En contextos como la Amazonia colombiana, su uso ha facilitado la detección de núcleos activos de pérdida de bosque y la evaluación de las principales causas, entre ellas la ganadería extensiva, el acaparamiento de tierras, la infraestructura vial y los cultivos ilícitos.

En contexto con lo anterior se presenta el documento denominado Monitoreo de la deforestación asociada a café en el marco de la implementación de EUDR “análisis de tres

herramientas”, el documento analiza tres herramientas de monitoreo de la deforestación en Colombia evaluando su alcance, metodologías, resoluciones espaciales y temporales, así como sus aplicaciones en la gestión ambiental y la investigación científica.

Desde esta perspectiva, se destacan plataformas como Global Forest Watch (GFW), MapBiomias y Tropical Moist Forests (TMF), desarrollada por el Centro Común de Investigación (JRC) de la Comisión Europea, generando mapas anuales desde 1990 hasta la actualidad, con resolución de 30 m, a partir de imágenes Landsat. La plataforma clasifica la cobertura en bosque no alterado, bosque degradado, deforestado y en regeneración, y permite identificar tanto el momento como la intensidad del cambio.

Es por ello que la plataforma TMF, es particularmente útil para estudios en la Amazonia colombiana y otras regiones con bosque húmedo tropical, ya que permite analizar tendencias a largo plazo y realizar comparaciones regionales o nacionales. Su integración con herramientas como Google Earth Engine (GEE) facilita la descarga y el procesamiento de datos, así como la generación de series históricas y mapas de transición.

Ahora bien, en el ámbito nacional, el documento señala que el IDEAM y el SIAC proveen información oficial sobre deforestación y cambio de uso de la tierra, pero la incorporación de plataformas como TMF puede ampliar la capacidad de análisis y servir como referencia independiente para validación y monitoreo.

2 Justificación

El centro poblado de La Tagua, ubicado en el municipio de Puerto Leguizamo (Putumayo), constituye una zona de alta sensibilidad ambiental debido a su riqueza biológica, su función ecosistémica y su cercanía con corredores naturales de la Amazonía colombiana. A pesar de estar incluido en los compromisos establecidos por la Sentencia 4360 de 2018, que ordena la formulación de planes municipales para alcanzar la deforestación cero, esta Centro Poblado Rural continúa registrando altos niveles de pérdida de cobertura boscosa. La ausencia de medidas eficaces y el limitado seguimiento técnico y territorial dificultan el cumplimiento de esta orden judicial, dejando a comunidades locales y ecosistemas en condiciones de alta vulnerabilidad.

En este contexto, es fundamental generar información territorial detallada que permita identificar los focos reales de deforestación, comprender la dinámica del cambio de uso del suelo en los últimos años y evaluar si las acciones derivadas de la Sentencia han tenido efectos tangibles en el territorio. El análisis espacial de la deforestación en La Tagua, a través de técnicas de teledetección y SIG, responde a esta necesidad y busca cerrar una brecha técnica y académica relevante para la gestión ambiental local.

Además, al tratarse de un territorio donde confluyen múltiples presiones socioambientales como la ganadería extensiva, la informalidad en el uso del suelo y la limitada institucionalidad, el estudio de La Tagua permite visibilizar realidades que no siempre están reflejadas en los diferentes estudios técnicos. Por tanto, esta investigación no solo aporta a la comprensión de un caso local de interés, sino que también contribuye al monitoreo del cumplimiento de fallos judiciales ambientales en zonas rurales amazónicas.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Analizar las tendencias espaciales de deforestación en el centro poblado de la Tagua Municipio de Puerto Leguizamo (Putumayo) en el marco de la sentencia 4360 de 2018 en el periodo de 2016 a 2023.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar espacialmente las tendencias temporales de deforestación en el Centro Poblado Rural de la Tagua Municipio de Puerto Leguizamo (Putumayo), entre los años 2016 a 2023, mediante la aplicación de la técnica de clasificación supervisada en ArcGIS Pro.
- Determinar las áreas críticas de deforestación mediante el uso de imágenes PlanetScope Scene entre los años 2016 a 2023.
- Evaluar el impacto de la sentencia 4360 de 2018 sobre la dinámica de la deforestación en el área de estudio.

4 Marco teórico

La deforestación es un fenómeno de alcance global que impacta significativamente los ecosistemas, la biodiversidad y el bienestar de las comunidades que dependen de los recursos forestales. En regiones como la Amazonía, considerada uno de los pulmones del planeta, las tasas de pérdida de cobertura forestal han alcanzado niveles alarmantes, generando consecuencias ambientales, sociales y económicas a gran escala.

El territorio continental de Colombia cuenta con cerca del 52% de la superficie cubierta de bosques naturales, es decir, casi 60 millones de hectáreas, las cuales además de conservar alta biodiversidad, brindan un importante flujo de bienes, servicios y valores culturales para el bienestar de comunidades locales que habitan y dependen de estos ecosistemas, y soportan el desarrollo nacional de múltiples actividades económicas. El patrimonio nacional que constituyen los bosques naturales, viene siendo afectado por la deforestación y la degradación; se estima que desde el año 1990 al 2016, han sido deforestadas más de seis millones de hectáreas, lo que incide en la pérdida invaluable de biodiversidad y servicios ecosistémicos, la afectación de espacios vitales para el buen vivir de las comunidades locales, el detrimento de recursos económicos y el aumento de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), factor que contribuye al cambio climático. Todo esto está afectando el desarrollo sostenible del país Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (s,f), pg 18.

En el caso de Colombia, la Amazonía representa un área clave para la conservación debido a su riqueza en biodiversidad y su función como regulador climático. Sin embargo, la expansión de actividades como la ganadería extensiva, los cultivos ilícitos y la minería ilegal ha intensificado las tasas de deforestación en municipios como Puerto Leguizamo, Putumayo, un territorio de alta vulnerabilidad ecológica y social.

Este marco teórico aborda el estado actual del conocimiento sobre la deforestación desde una perspectiva global y nacional, con énfasis en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta para el análisis de patrones espaciales de pérdida forestal, análisis que puede aportar a la toma de decisiones sobre casos de potenciales afectaciones ambientales y territoriales frente a los desafíos de desarrollo y conservación de una región tan biodiversa y estratégica como es la Amazonía Colombiana.

A continuación, se resaltan los conceptos más relevantes que serán llevados a cabo a lo largo de la investigación; estos conceptos no solo nos permiten comprender las causas y efectos de la problemática actual, sino también, las posibles soluciones y estrategias que interactúan de manera compleja.

4.1 Sistemas de información geográfica (SIG)

Según Luna (2023), Los SIG son herramientas que permiten la captura, almacenamiento, análisis y visualización de datos geoespaciales. Estos sistemas combinan distintos tipos de información geográfica, como imágenes satelitales, mapas y datos de campo, lo que facilita la evaluación de riesgos y la toma de decisiones en situaciones de desastre. En la gestión del riesgo, los SIG se utilizan para identificar áreas vulnerables, simular escenarios de impacto de fenómenos naturales y diseñar estrategias de mitigación y respuesta.

Los SIG son una herramienta multidisciplinaria, si bien sus orígenes están íntimamente ligados a la gestión forestal o la planificación urbanística, ya hacen parte de la vida diaria gracias a empresas como Google, que han creado contenidos interactivos basados en la localización de las cosas y de las personas, tanto Google Maps como Google Earth, permiten una interacción de SIG básica pero que acerca más a los usuarios al desarrollo de contenidos y análisis. (Olaya, 2009).

Estos sistemas continúan más vigentes que nunca y, con el paso del tiempo, han adquirido mayores potencialidades y aplicaciones en diversas áreas del conocimiento. No obstante, su impacto es particularmente significativo en disciplinas como las ciencias ambientales, la planificación territorial, la biología, la energía, la infraestructura, la planeación urbana y regional (procesos de urbanización), el monitoreo ambiental, la geografía física, el transporte y la logística. Su constante evolución ha estado marcada por mejoras tecnológicas y adaptaciones a nuevas plataformas y bases de datos. la necesidad de comprender el entorno más allá de lo que es perceptible a simple vista ha llevado al desarrollo de herramientas que permiten visualizar el mundo en contexto. Gracias a los SIG, es posible tener una visión global del territorio, accesible y detallada, al alcance de la mano.

4.2 Percepción remota

Los sensores remotos, y el manejo de imágenes digitales a través de una pantalla, han modificado el estudio de la superficie terrestre y la evaluación de los recursos naturales. En este sentido, según (Calderón & Córdoba 2022, Pg 16), la percepción remota, consiste en el análisis e interpretación de mediciones de radiación electromagnéticas reflejada desde o emitida por un objetivo que es observado o grabado por un observador o un instrumento que no está en contacto con dicho objetivo, por lo cual, este se puede transportar en diferentes plataformas, tales como: los satélites, aviones y drones. Mediante la PR es posible determinar la composición de la atmósfera y de la superficie terrestre desde la escala global, regional y local; por lo tanto, es posible hacer un monitoreo para la evaluación de los cambios en la superficie a través de estudios temporales.

Los mapas de imagen se utilizan frecuentemente como un fondo en un SIG, mientras que el proceso de reconocimiento de patrones produce etiquetas (escala nominal) que muestra la distribución de los tipos de cobertura de la superficie de la Tierra. Las medidas cuantitativas tales como los índices de vegetación son derivados de la calibración de los datos y a menudo están vinculados a través de análisis de regresión de las propiedades de la superficie de la Tierra, tales como el contenido de humedad del suelo (Mather & Koch, 2011a).

4.3 Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales son representaciones visuales de la superficie terrestre. Estos sensores pueden operar en diferentes rangos del espectro electromagnético, como el visible, infrarrojo o microondas, lo que permite obtener información diversa, incluso de zonas no accesibles al ojo humano. Las imágenes resultantes pueden ser ópticas, térmicas o de radar, dependiendo del tipo de sensor utilizado. Estas imágenes son fundamentales para la teledetección, ya que permiten observar, analizar y monitorear fenómenos naturales y antrópicos a distintas escalas espaciales y temporales. De acuerdo a (Calderón & Córdoba 2022, Pg 17), La información obtenida con la percepción remota se recopila en una matriz de datos también conocida como formato ráster, en donde cada fila y columna (pixel) se almacena la ubicación geográfica del valor de la radiación. El tamaño (área del píxel), la radiación electromagnética y la frecuencia de paso del satélite

(resolución espacial, radiométrica y temporal), es decir, por una misma zona; van a depender de las características de la plataforma (esta información se obtiene de la meta data de la imagen).

Según Campbell y Wynne (2011), las imágenes satelitales no solo representan datos visuales, sino que contienen información cuantificable que puede ser procesada digitalmente para clasificar coberturas del suelo, detectar cambios en el tiempo y modelar procesos físicos y biológicos.

4.4 PlanetScope

PlanetScope es una constelación de satélites operada por la empresa Planet Labs Inc., diseñada para proporcionar imágenes satelitales de alta resolución con una cobertura casi diaria del planeta. Esta plataforma forma parte del sistema de observación terrestre más extenso del mundo en términos de frecuencia de adquisición y resolución espacial, con sensores ópticos que capturan imágenes en cuatro bandas espectrales (rojo, verde, azul e infrarrojo cercano) a una resolución espacial de aproximadamente 3 a 5 metros por píxel. A diferencia de plataformas públicas como Landsat o Sentinel, PlanetScope pertenece al sector privado, lo que implica que el acceso a sus datos está regulado por licencias, aunque existen convenios académicos y gubernamentales que permiten su uso con fines de investigación y gestión pública.

La eficiencia de PlanetScope se basa en el despliegue masivo de nanosatélites conocidos como "Doves", que trabajan en sincronía para escanear la superficie terrestre. Esta constelación puede recolectar más de 300 millones de kilómetros cuadrados de imágenes al día, lo cual supera ampliamente a otras plataformas convencionales en términos de volumen de datos. Gracias a esta frecuencia temporal y la resolución moderadamente alta, es posible identificar cambios en la vegetación, construcciones, cuerpos de agua o usos del suelo con una precisión adecuada para la toma de decisiones informadas. Además, su integración con plataformas como Google Earth Engine o herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica) permite procesar y analizar las imágenes de manera eficiente, facilitando la detección de patrones espaciales y temporales en estudios ambientales y geográficos. En el ámbito agrícola, por ejemplo, PlanetScope permite llevar un control casi en tiempo real del estado de los cultivos, detectar estrés hídrico o enfermedades, y aplicar medidas correctivas de manera oportuna, lo cual representa un valor estratégico para la seguridad alimentaria y la productividad del sector. Según Kumar et al. (2020), la disponibilidad

diaria de imágenes a escala global y la resolución de PlanetScope contribuyen a una comprensión más dinámica de los sistemas terrestres, permitiendo el monitoreo casi en tiempo real de cambios ambientales con una escala de detalle sin precedentes.

4.5 Análisis espacial

El análisis espacial engloba un conjunto de técnicas que permiten explorar las relaciones y patrones presentes en datos geográficos. Se centra en estudiar la distribución y variabilidad de diversos fenómenos a lo largo de un territorio, lo que resulta esencial para comprender cómo interactúan los distintos elementos del entorno.

En el ámbito de la gestión del riesgo de desastres, este tipo de análisis se vuelve indispensable para identificar zonas potencialmente vulnerables. Permite, por ejemplo, detectar áreas en las que la topografía, el uso del suelo y la exposición a eventos naturales como ríos caudalosos, deslizamientos o inundaciones convergen para generar situaciones de riesgo. Asimismo, facilita la creación de modelos y escenarios de impacto, lo que ayuda a anticipar y prepararse para posibles emergencias.

Las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) juegan un papel clave en este proceso. Gracias a la capacidad de superponer diferentes capas de datos, se pueden realizar análisis de proximidad, evaluar densidades y trazar redes que reflejen la interacción entre variables. Esta integración de información permite una evaluación más completa y detallada, fundamental para diseñar estrategias de mitigación, respuesta y recuperación en situaciones de desastre. (ESRI, 2024).

4.6 Patrones y tendencias espaciales

Los patrones espaciales, hacen referencia a la distribución y organización de elementos o fenómenos en el espacio geográfico, que pueden mostrar relaciones, agrupaciones o dispersiones específicas en un área determinada (Goodchild, 2009). Por otro lado, las tendencias espaciales representan los cambios sistemáticos en esa distribución a lo largo del tiempo, permitiendo identificar dinámicas o comportamientos recurrentes de los fenómenos analizados (Fotheringham et al., 2000).

En el ámbito ambiental y territorial, analizar patrones y tendencias espaciales resulta crucial para comprender procesos como la deforestación, la urbanización o el cambio de uso del suelo. Herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten visualizar, modelar y analizar estos fenómenos, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en planificación y gestión territorial (Longley et al., 2015).

4.7 Sentencia de la amazonia 4360 de 2018

Para poder comprender de qué trata la sentencia de la Amazonía 4360 de 2018, es necesario identificar claramente las líneas argumentativas que condujeron a la Corte a reconocerla como sujeto de derechos. En este sentido, y como punto de partida de esta decisión, para la Corte Suprema ha sido la ética dominante en el derecho ambiental actual. En primer lugar, la Corte reconoce que los ecosistemas están expuestos a situaciones extremas que impiden su subsistencia. Así, la sociedad se enfrenta a una ascendente dificultad para obtener los medios indispensables de subsistencia, al igual que a la contaminación y mutación del entorno humano.

En segundo lugar, la Corte demanda que la sociedad se dirija hacia un escenario “ecocéntrico-antrópico”, definido por esta premisa: las actuaciones presentes deben asegurar la posibilidad de aprovechamiento de los recursos en el porvenir. Dicho escenario requiere que el operador judicial debe proteger los derechos que apuntan a la persona humana, aunque también debe orientarse a la protección de intereses colectivos. Sin embargo, esta protección de los derechos fundamentales de una persona se manifiesta en un ámbito no reducido solo a esta, sino que abarca también a las demás personas y seres que habitan el planeta, lo cual incluye a las especies animales y vegetales. En tercer lugar, la Corte requiere que la sociedad cargue con las exigencias que impone el paso de un modelo antropocéntrico a uno 92 Semilleros de investigación investigaciones en construcción”.

En cuarto lugar, la Corte propone que el comportamiento humano se base en los principios de precaución, de equidad intergeneracional y de solidaridad, indicando sobre estos principios algunos trazos generales: 1) respecto al primero, los derechos ambientales exigen prevenir la ocurrencia de un daño; 2) respecto al segundo, es relevante resaltar que, sin un ambiente sano, las personas y los demás seres vivos no podrían vivir ni garantizar para sí o las generaciones futuras unas condiciones ambientales acordes con las necesidades humanas; 3) respecto al tercero, debe

existir un criterio equitativo y prudente de consumo, el cual imponga deberes al Estado de detener las causas que provocan un menoscabo a la naturaleza, así como de adoptar medidas de mitigación inmediatas. Por último, la Corte reconoce a la selva amazónica colombiana como sujeto de derechos, entendiendo que al ser titular de este reconocimiento se presupone la protección del ecosistema, así como su conservación y mantenimiento a cargo del Estado, por lo que ordena cinco acciones a los organismos estatales: 1) la formulación de planes de acción a corto, mediano y largo plazo para contrarrestar la tasa de deforestación en la Amazonía; 2) la construcción de un Pacto Intergeneracional por la Vida del Amazonas Colombiano; 3) la implementación de Planes de Ordenamiento Territorial que apunten al control de la deforestación; 4) un plan de acción que contrarreste con medidas de carácter policivo, judicial o administrativo los problemas de deforestación; 5) el incremento de las demás acciones estatales que contribuyan a mitigar este flagelo. Además, estas acciones deben ir acompañadas de la participación activa y el trabajo de los tutelantes, las comunidades afectadas, los grupos de investigación y la población interesada en general (Olaya, D; 2022).

4.8 Deforestación

A lo largo de la historia, la mayoría de coberturas vegetales sobre la tierra han sufrido cambios, uno de los más evidentes es la pérdida de zonas boscosas conocida como Deforestación.

Según la FAO (2020) la deforestación se define como la pérdida de cobertura forestal debida a actividades como la agricultura, la ganadería, la minería y la explotación de madera, así como por incendios forestales y otros procesos degradantes. Este fenómeno genera impactos ambientales como la pérdida de la biodiversidad, alteración de ciclos hidrológicos y aumento de gases de efecto invernadero (IPCC, 2021). La amazonia es una de las regiones más afectadas por la deforestación a nivel mundial. Brasil, Colombia, Perú y Bolivia lideran las tasas de pérdida forestal en América del Sur (Global Forest Watch, 2023). En Colombia, la deforestación está concentrada principalmente en la región amazónica, donde factores como la ganadería extensiva, la construcción de vías ilegales y los cultivos ilícitos representan las principales amenazas (IDEAM, 2021).

La deforestación está profundamente vinculada con factores socioeconómicos, y su distribución espacial está influenciada por aspectos geográficos, políticos y económicos.

Comprender estas dinámicas es crucial para formular políticas y herramientas efectivas que enfrenten o mitiguen este problema en el país. Según los modelos económicos sobre deforestación, el uso de la tierra está determinado por su costo de oportunidad. Por ejemplo, el crecimiento de los centros urbanos y la mayor demanda de alimentos incrementan el valor económico de las tierras cercanas a los bosques, haciendo más rentable convertirlas para actividades agrícolas o ganaderas en lugar de conservarlas. Sin embargo, como los bienes y servicios que proveen los bosques no tienen un precio de mercado y existen externalidades positivas asociadas, estas decisiones económicas pueden resultar en la pérdida de bosques que, en realidad, tienen mayor valor ambiental y social en pie que al ser destinados a otras actividades. García, H. (2012)

En Colombia las principales causas de la deforestación son la expansión de la frontera agropecuaria, especialmente para ganadería extensiva, siembra de cultivos ilícitos, tala ilegal, minería e infraestructura, incendios forestales y presión por el crecimiento poblacional.

4.9 Uso del suelo

El estudio de uso de la tierra distingue dos tipos de estudio: el de uso actual y el uso potencial o capacidad de uso. El de uso actual de la tierra, comprende todas aquellas actividades agropecuarias que se dan en el presente y que han sido producto de las relaciones históricas del hombre con su medio. El de uso potencial o capacidad de uso comprende la identificación y caracterización del mejor uso que se le podría dar a la tierra, sobre la base de sus características naturales sin perjudicar su uso sostenido

En este orden de ideas, el término uso hace referencia a los tipos de cobertura desarrollados por el hombre, como la agricultura, la ganadería, el uso urbano o el recreativo, las condiciones socioeconómicas y culturales de un núcleo poblacional son las que determinan las formas de aprovechamiento de los recursos básicos del territorio, y a su vez, lo limitan, un claro ejemplo de ello es la constante presión que ejerce el hombre sobre el recurso tierra el cual ha desencadenado una serie de desequilibrios que han llevado a la degradación progresiva de extensas áreas del territorio nacional. La agricultura es una de las actividades que mayor uso hace de los recursos suelo y agua, por lo cual es necesario conocer la vocación de las tierras para utilizarlas en concordancia con su capacidad productiva.

Ahora bien, Colombia tiene una estructura productiva con un uso irracional del suelo que se materializa con su distribución predial inequitativa para constituir una estructura agraria trunca, ineficiente y fuente de permanentes conflictos. La región está subutilizando la tierra agrícola en sus $\frac{3}{4}$ partes, mientras sobre utiliza en ganadería una cifra más cercana al 100 % de los suelos. En efecto, el uso del suelo es diferenciado por regiones. En la Costa Atlántica es predominantemente ganadero (77,8 %) y solo se usa en la agricultura el 6,7 % del suelo. Se evidencia irracionalidad en la estructura productiva y tenencia de la tierra. (Calvano, F. R, 2014)

4.10 Cambio de cobertura

El cambio de cobertura del suelo se refiere a la alteración en la distribución y tipo de cobertura vegetal o uso del suelo en un área determinada a lo largo del tiempo. Este proceso puede implicar la conversión de bosques, praderas, humedales, u otros ecosistemas naturales en otros usos del suelo como la agricultura, la urbanización, la ganadería, o la construcción de infraestructuras. El cambio de cobertura del suelo tiene implicaciones significativas para el medio ambiente, incluyendo la pérdida de biodiversidad, el deterioro de la calidad del agua, la alteración de los ciclos biogeoquímicos y la contribución al cambio climático, debido a las emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂) liberado en la atmósfera.

Este fenómeno se encuentra estrechamente vinculado con procesos de deforestación, desertificación, y expansión urbana, siendo fundamental para el estudio de los impactos ambientales de las actividades humanas. (Lambin, E., Geist, H. 2006).

En este sentido, la afectación sobre la cobertura del suelo en la Amazonía colombiana comprende una dinámica que ha puesto en escena la transformación desfavorable de una gran extensión de bosque, lo cual se ha asociado con actividades antrópicas como lo es la agricultura, la ganadería, la minería y la tala ilegales. Esto, ha generado una serie de impactos negativos sobre la naturaleza y la alteración sobre el clima, el aumento de los gases efecto invernadero y la transformación sobre los ciclos hidrológicos. (FAO, 2016).

5 Metodología

En el contexto de la investigación el desarrollo se basa en un enfoque mixto que combina el análisis cuantitativo y cualitativo para lograr una comprensión integral del fenómeno de la deforestación. Este método permite evaluar de forma técnica y global tanto los patrones espaciales y temporales como los factores sociales, políticos y económicos que influyen en este problema.

Por un lado, se emplean técnicas cuantitativas, utilizando herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección, para medir con precisión las áreas deforestadas y calcular las tasas de pérdida de cobertura forestal. Por otro lado, se incorporan métodos cualitativos para profundizar en las motivaciones detrás de estos cambios, explorando aspectos como las políticas públicas, las dinámicas comunitarias y los intereses económicos que contribuyen al proceso de deforestación. Este enfoque integral resulta especialmente útil para evaluar la efectividad de las políticas de protección y restauración de la Amazonía, en particular en el marco de la Sentencia 4360 de 2018. Al considerar tanto los datos medibles como las realidades sociales y políticas, la metodología ofrece una visión completa que facilita la toma de decisiones y el diseño de estrategias más efectivas para enfrentar la deforestación.

5.1 Tipo de estudio

En el estudio se aplicará un enfoque correlacional ya que permite analizar las relaciones entre la deforestación y factores asociados (como uso del suelo, proximidad a actividades ilegales, la implementación de políticas públicas derivadas de la Sentencia 4360 de 2018) sin necesidad de establecer causalidad directa.

Las técnicas estadísticas y los SIG permitirán la identificación de patrones significativos y asociaciones que informen sobre la efectividad de las políticas, así como sobre la dinámica de la deforestación en Puerto Leguizamo, un insumo para la toma de decisiones para frenar la pérdida de bosques en la región.

Este enfoque permite una investigación estadísticamente sólida de las relaciones entre múltiples variables, mientras revela los patrones espaciales y temporales de la deforestación. Este enfoque, por lo tanto, aprovechando las herramientas avanzadas de los SIG, la percepción remota y el análisis estadístico, tiene el potencial de proporcionar resultados importantes para una mejor

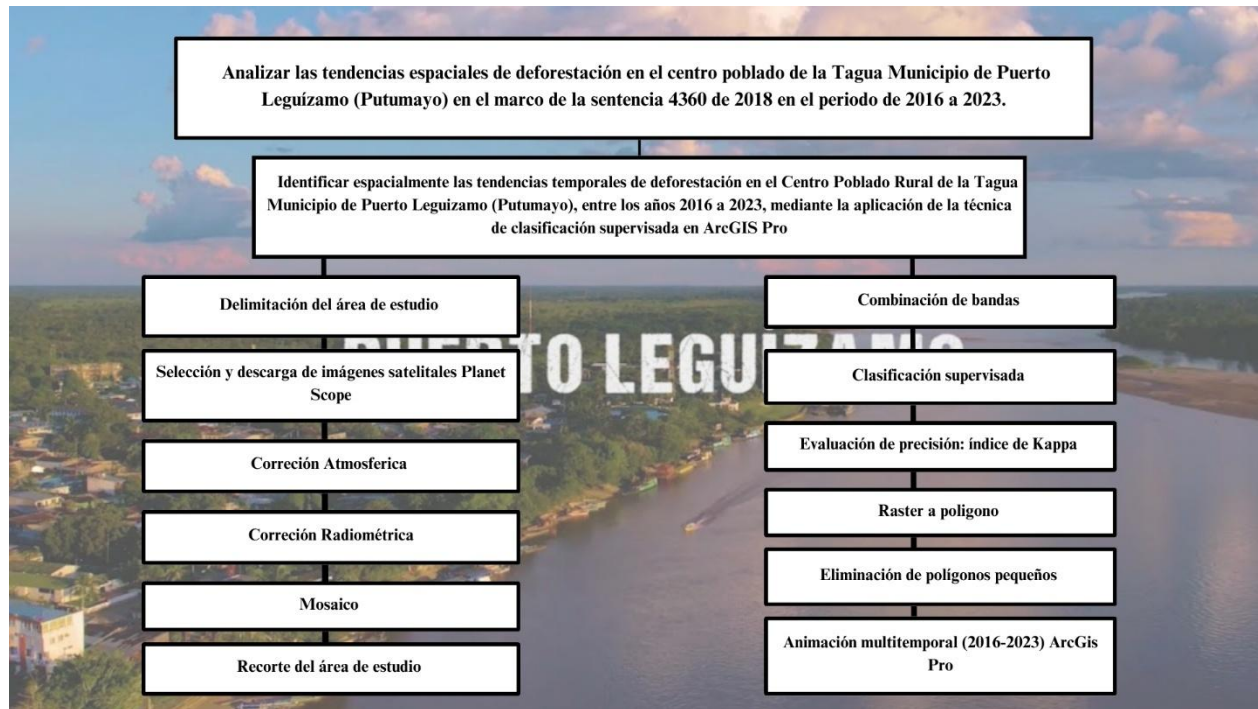
adaptación de las políticas públicas y la mejora de las estrategias de conservación en la región amazónica.

5.2 Procedimiento

Para llevar a cabo esta investigación, se trabajará en función de objetivos específicos, cada uno enfocado en un aspecto clave de la metodología y orientado a alcanzar los resultados propuestos. Este enfoque permite mantener un mejor control del progreso, optimizar el uso de los recursos y asegurar que los resultados sean claros y consistentes. Aunque los objetivos se abordarán en un orden establecido, están interrelacionados, lo que significa que el logro de uno contribuirá al desarrollo y cumplimiento de los siguientes:

5.2.1 Identificar espacialmente las tendencias temporales de deforestación en el Centro Poblado Rural de la Tagua Municipio de Puerto Leguizamo (Putumayo), entre los años 2016 a 2023, mediante la aplicación de la técnica de clasificación supervisada en ArcGIS Pro.

Para el cumplimiento del objetivo específico se tiene en cuenta la siguiente metodología, la cual se soporta del documento denominado Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia V.2, en la etapa de pre procesamiento de las imágenes:

Figura 1*Desarrollo metodológico Objetivo N° 1***5.2.1.1 Delimitación del área de estudio**

Se definió el polígono correspondiente al Centro Poblado Rural de La Tagua, ubicado en el municipio de Puerto Leguizamo (Putumayo). Esta delimitación fue seleccionada por ser un área con alta presión sobre los bosques debido a su ubicación estratégica en la Amazonía, y por mostrar signos de intervención y cambio en la cobertura vegetal según reportes del IDEAM y estudios regionales. En este orden de ideas, para la delimitación se utilizaron capas y fuentes oficiales como lo son: Cartografía catastral del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el cual proporciona insumos bases como los límites prediales y los centros poblados rurales a nivel detallado; Base de Centros Poblados del DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), esta capa contiene los polígonos administrativos de los centros poblados rurales del país, clasificados por nombre, código DANE y tipo de centro (urbano o rural), por último, la Capa de uso del suelo o cobertura de la tierra (IDEAM – Mapa de Coberturas 2016), la cual se utilizó para brindar contexto

sobre el tipo de coberturas predominantes en la zona, lo cual reforzó la pertinencia de la selección del área.

5.2.1.2 Selección y descarga de imágenes satelitales PlanetScope

Esta actividad consistió en la búsqueda, selección y descarga de imágenes satelitales de la plataforma PlanetScope Scene, las cuales fueron empleadas como insumo principal para el análisis de tendencias espaciales en el Centro Poblado Rural de La Tagua, entre los años 2016 y 2023. Para el desarrollo de la actividad se tuvo en cuenta los siguientes parámetros para la optimización de los datos: cobertura espacial completa del área de estudio, baja presencia de nubes y por último, compatibilidad multitemporal. De esta manera, se descargaron alrededor de 8 imágenes una por año las cuales contenían diferentes escenas que debían ser posteriormente procesadas y por ende unificadas en un mosaico y recorte para su libre análisis.

Antes de cualquier análisis se revisaron los metadatos de cada escena. Los campos “ps:radiometricScaleFactor” y “ps:reflectanceCoefficient” obtenidos de la metadata de cada una las imágenes, confirman que los archivos descargados son del tipo Analytic/DN (valores digitales crudos), es decir, no vienen en reflectancia de superficie, como se observa en la figura N° 2

Figura 2

Metadatos imagen satelital Planet Scope

```

<ps:bandNumber>1</ps:bandNumber>
<!-- Multiply by radiometricScaleFactor to convert DNS to TOA Radiance (watts per steradian per square metre -->
<ps:radiometricScaleFactor>0.01</ps:radiometricScaleFactor>
<!-- Multiply by reflectanceCoefficient to convert DNS to TOA Reflectance -->
<ps:reflectanceCoefficient>2.0674132658150004e-05</ps:reflectanceCoefficient>
</ps:bandSpecificMetadata>
<ps:bandSpecificMetadata>
  <ps:bandNumber>2</ps:bandNumber>
  <!-- Multiply by radiometricScaleFactor to convert DNS to TOA Radiance (watts per steradian per square metre -->
  <ps:radiometricScaleFactor>0.01</ps:radiometricScaleFactor>
  <!-- Multiply by reflectanceCoefficient to convert DNS to TOA Reflectance -->
  <ps:reflectanceCoefficient>2.193136774879475e-05</ps:reflectanceCoefficient>
</ps:bandSpecificMetadata>
<ps:bandSpecificMetadata>
  <ps:bandNumber>3</ps:bandNumber>
  <!-- Multiply by radiometricScaleFactor to convert DNS to TOA Radiance (watts per steradian per square metre -->
  <ps:radiometricScaleFactor>0.01</ps:radiometricScaleFactor>
  <!-- Multiply by reflectanceCoefficient to convert DNS to TOA Reflectance -->
  <ps:reflectanceCoefficient>2.4465862649964073e-05</ps:reflectanceCoefficient>
</ps:bandSpecificMetadata>
<ps:bandSpecificMetadata>
  <ps:bandNumber>4</ps:bandNumber>
  <!-- Multiply by radiometricScaleFactor to convert DNS to TOA Radiance (watts per steradian per square metre -->
  <ps:radiometricScaleFactor>0.01</ps:radiometricScaleFactor>
  <!-- Multiply by reflectanceCoefficient to convert DNS to TOA Reflectance -->
  <ps:reflectanceCoefficient>3.6767863713342765e-05</ps:reflectanceCoefficient>

```

De acuerdo a ello, el primer paso fue convertir esos DN a reflectancia en cima de la atmósfera (TOA), multiplicando cada banda por su “reflectanceCoefficient” específico. Esta conversión lleva los datos a una escala física adimensional (0–1), comparable entre fechas y fundamental para índices y clasificación.

Después se aplicó una corrección atmosférica donde se restó a cada banda un valor mínimo de reflectancia (estimado del histograma) y se convirtieron los negativos a 0. Con ello se fija el “cero físico” y se reduce el efecto de neblina o radiancia de fondo, mejorando la coherencia interanual.

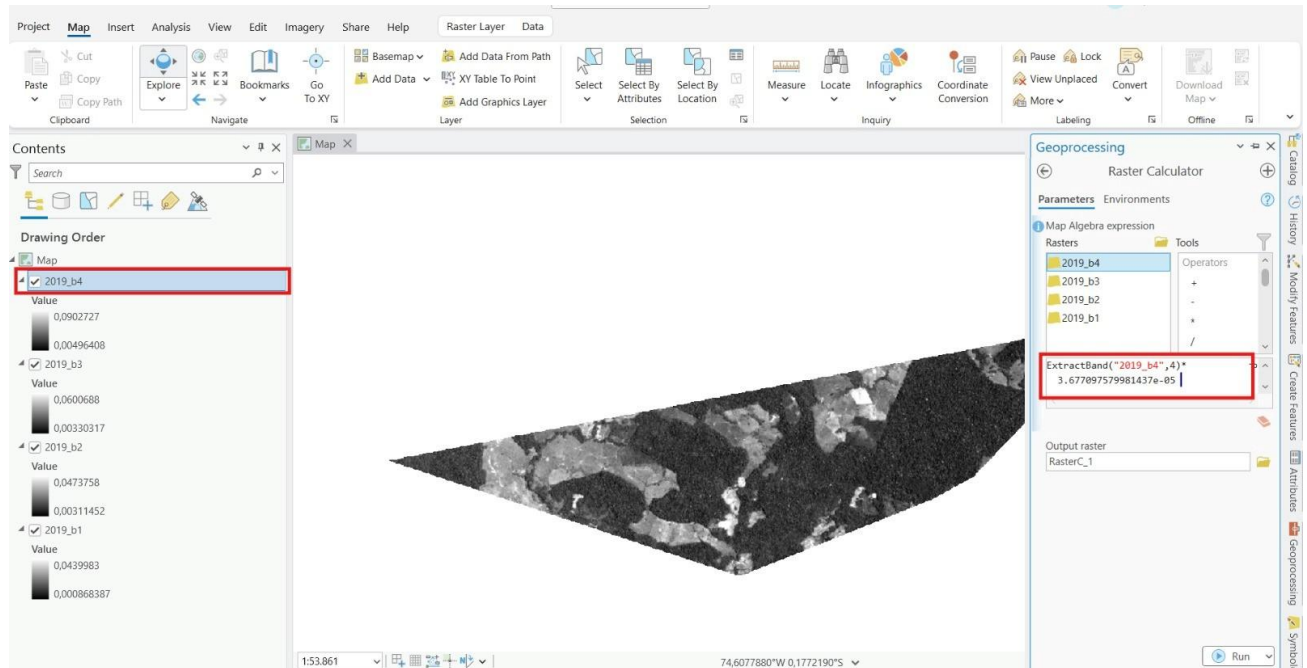
Finalmente, se aclara que si las escenas hubiesen sido Surface Reflectance (SR), ya corregidas atmosféricamente por el proveedor no se habría realizado la conversión DN→TOA, adicionalmente, se habría aplicado un recorte de valores negativos. Esto evita cualquier doble corrección y asegura un tratamiento radiométrico adecuado a cada tipo de producto.

5.2.1.3 Corrección radiométrica

Este proceso se realizó en ArcGIS Pro, banda por banda, empleando la herramienta Raster Calculator. Por ejemplo, para la Banda 4 de la escena 2019_b4, la operación fue la siguiente: `ExtractBand("2019_b4", 4) * 3.677097579981437e-05`.

El valor numérico multiplicador corresponde al coeficiente de reflectancia específico de esa banda, fue obtenido directamente de los metadatos originales de la imagen descargada en formato crudo (DN), antes de cualquier procesamiento. Con esta conversión se generan valores adimensionales que oscilan entre 0 y 1. Este mismo procedimiento se aplicó a las bandas B2, B3 y B4, obteniéndose así cuatro rásteres calibrados para el año analizado.

Figura 3
Corrección Radiométrica

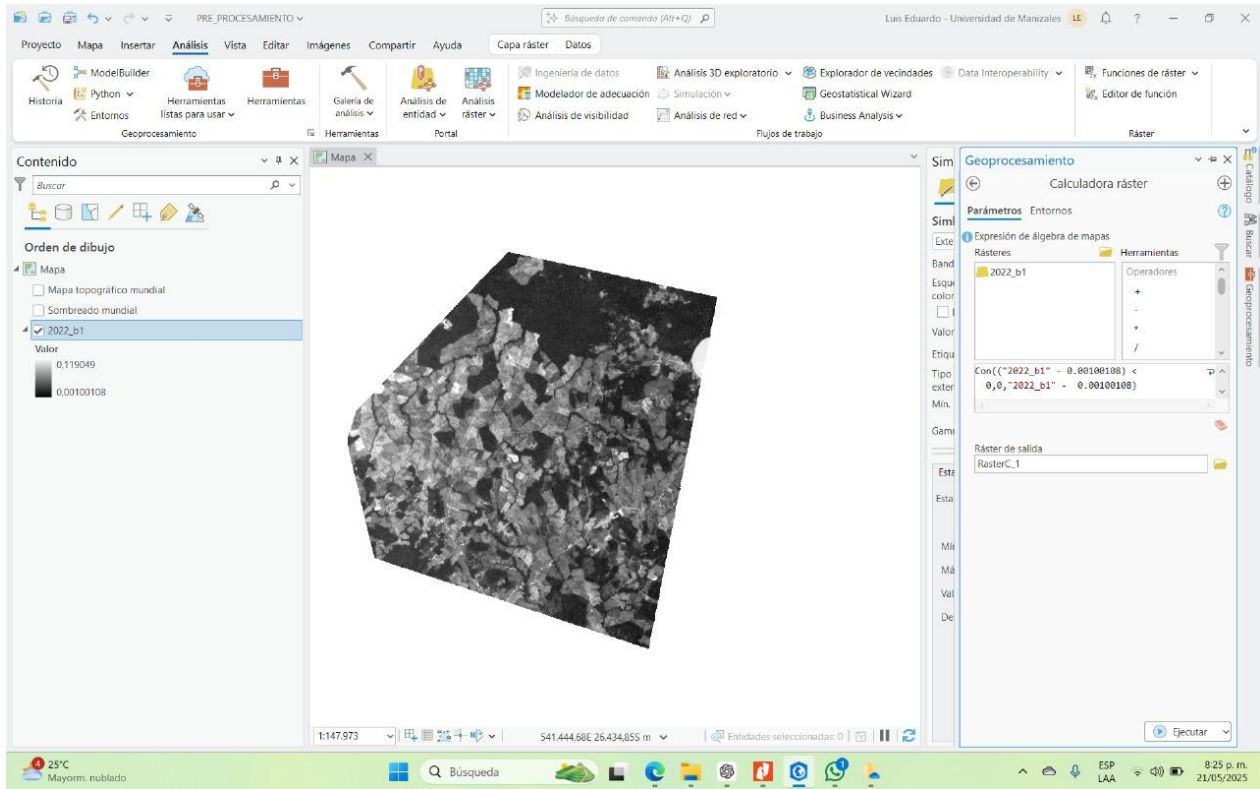


5.2.1.4 Corrección atmosférica

Tras la conversión radiométrica, se utilizó la ecuación siguiente: $\text{Con}((\text{"2023_b1"} - 0.000981589) < 0, 0, \text{"2023_b1"} - 0.000981589)$

La función $\text{Con}()$ asegura que ningún píxel adopte reflectancias negativas condición indispensable para cálculos espectrales e índices de vegetación. El proceso se repitió con los valores mínimos de B2, B3 y B4.

Figura 4
Corrección Atmosférica



5.2.1.5 Mosaico

Como parte del proceso de preparación de insumos geospaciales, se llevó a cabo la creación de un mosaico satelital, con el fin de integrar múltiples escenas PlanetScope correspondientes al mismo año y área de estudio, garantizando una cobertura continua, libre de nubes y adecuada para el análisis de la cobertura forestal.

Debido a que las imágenes PlanetScope se entregan en escenas individuales (Scene), con cobertura limitada y posible presencia de nubes o variaciones radiométricas, fue necesario unir varias imágenes del mismo periodo para obtener un producto homogéneo. Este proceso se realizó en el software ArcGIS Pro, mediante la herramienta Mosaic To New Raster.

5.2.1.6 Recorte del área de estudio

Para el recorte se utilizó un shapefile vectorial que contenía el polígono oficial de La Tagua, extraído de bases cartográficas del IGAC y el DANE. El recorte de las imágenes satelitales se realizó en ArcGIS Pro mediante la herramienta Extract by Mask, la cual permite extraer únicamente los píxeles que se encuentran dentro de un polígono de referencia. El resultado fue una imagen satelital de menor tamaño, correspondiente exclusivamente al perímetro de La Tagua

5.2.1.7 Combinación de Bandas

Como paso previo a la clasificación supervisada, se integraron las bandas espectrales de las imágenes satelitales PlanetScope. Esto debido a que, tras el recorte del área de estudio, la imagen resultante no permitía identificar con claridad las coberturas presentes, como se indica en la figura N° 5, por lo cual, para optimizar la visualización, se generó una imagen multibanda que consolidara toda la información espectral requerida, utilizando la herramienta **Composite Bands**. Se aplicó una composición en falso color con la combinación 4-3-2-1, ampliamente empleada en estudios de vegetación por su capacidad para resaltar la cobertura boscosa y diferenciarla de otros usos del suelo, como se observa en la figura N° 6:

Figura 5
Resultado de la composición de la imagen

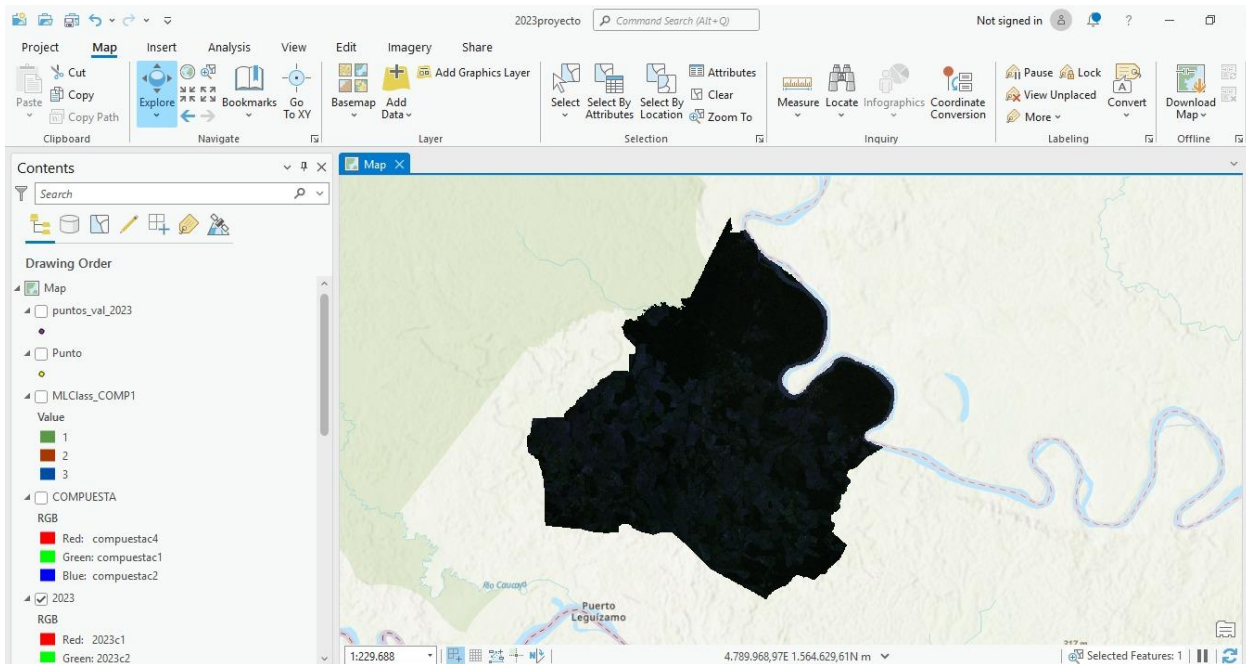
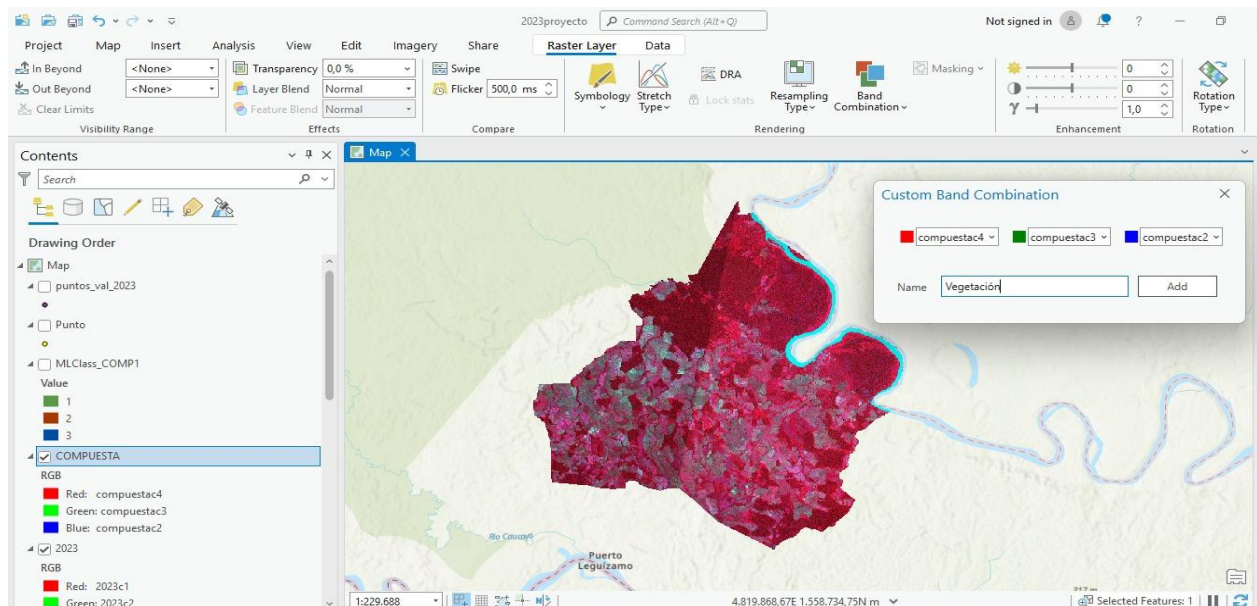


Figura 6
Composición de bandas



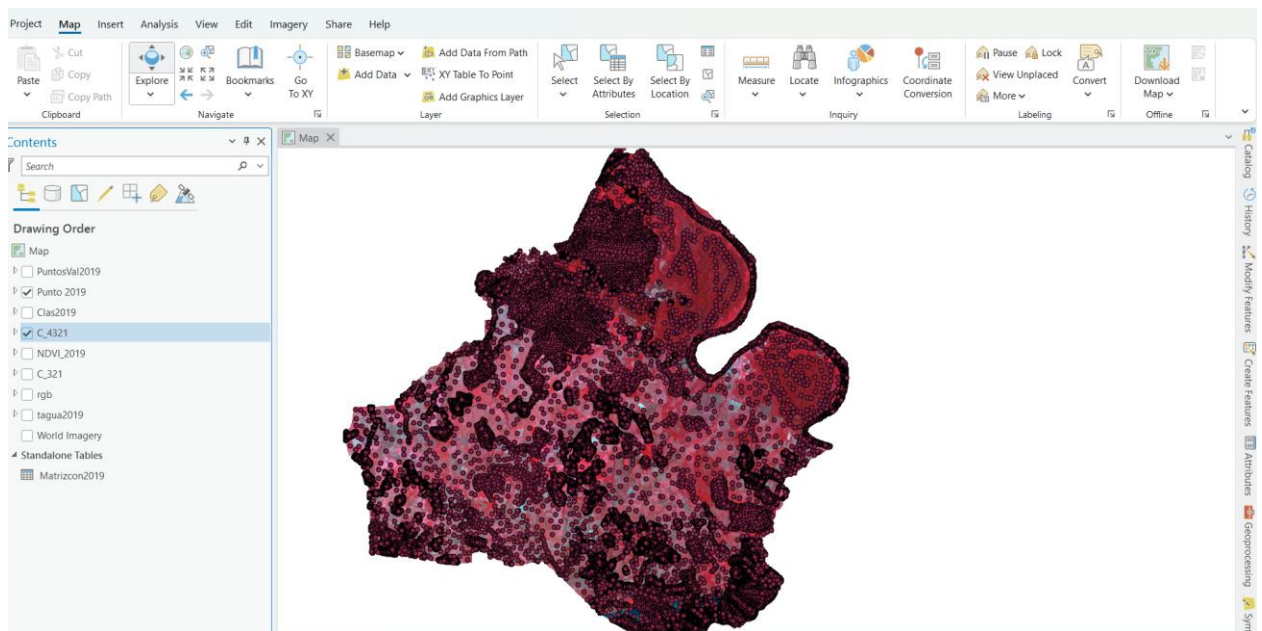
5.2.1.8 Clasificación Supervisada

Una vez recortadas las imágenes satelitales al polígono del Centro Poblado Rural de La Tagua, se procedió a realizar la clasificación supervisada de la cobertura del suelo. Para este proceso, se tomó como referencia el protocolo descrito por Galindo et al. (IDEAM, 2014) en el documento *“Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia V.2”*, cuyo objetivo es establecer una metodología estandarizada para la detección y cuantificación de la deforestación en el país, utilizando imágenes de sensores remotos, principalmente del programa satelital Landsat. En el presente estudio, dicho protocolo fue adaptado y ajustado a las características de la información satelital PlanetScope, la cual ofrece ventajas significativas frente a sensores como Landsat, especialmente para el análisis a escala local. PlanetScope cuenta con una resolución espacial de 3 metros, superior a los 30 metros de Landsat, lo que permite una mayor precisión en la delimitación de coberturas y en la detección de cambios en áreas pequeñas.

Estas características hicieron necesario ajustar los parámetros metodológicos para aprovechar al máximo la mayor resolución espacial, la disponibilidad temporal y el rango espectral específico de PlanetScope, garantizando una clasificación más detallada y acorde a las condiciones particulares del área de estudio. En este orden de ideas, se establecieron tres categorías principales: (1) bosque, (2) no bosque y (3) cuerpos de agua, considerando tanto la información espectral de las bandas como el contexto geográfico local.

Para dar paso a la clasificación supervisada, se creó una capa de puntos (shapefile de tipo point) en ArcGIS Pro como se evidencia en la figura N° 7, la cual fue utilizada para identificar y representar las diferentes coberturas del terreno (bosque, no bosque y cuerpos de agua) observables en la imagen satelital PlanetScope.

Figura 7
Clasificación Supervisada, capa de puntos



Una vez creada la capa, se activó el modo de edición (Edit), y se procedió a ubicar manualmente los puntos sobre las áreas representativas de cada clase de cobertura, basándose en la interpretación visual de la imagen. Cada punto fue asignado a una clase específica mediante un campo en la tabla de atributos, lo que permitió etiquetar adecuadamente los datos de entrenamiento para el algoritmo de clasificación. Una vez creados los puntos de entrenamiento y generadas las firmas espectrales mediante la herramienta "Create Signatures", se aplicó el algoritmo Maximum Likelihood Classification (MLC) para clasificar los píxeles de la imagen satelital, resultado de ello el proceso de la clasificación supervisada.

5.2.1.9 Evaluación de precisión: Índice de Kappa

Como parte del proceso metodológico, se realizó una evaluación de precisión de los mapas clasificados mediante la matriz de confusión y el cálculo del índice de Kappa. Esta etapa fue fundamental para validar la fiabilidad de la clasificación supervisada basada en el algoritmo de Máxima Verosimilitud. Para este procedimiento, se generaron puntos de validación utilizando la herramienta "Create Accuracy Assessment Points" en ArcGIS Pro. Estos puntos fueron distribuidos

de manera aleatoria estratificada, asegurando una representación equilibrada entre las clases "bosque", "no bosque" y "cuerpos de agua".

De esta manera, se comparó la clase asignada en el mapa clasificado con la clase real observada en la imagen, para cada punto. Con base a esta comparación se generó la matriz de confusión, la cual permitió la validez a los datos realizados

Es pertinente mencionar que, se consideró como aceptable un valor de Kappa superior a 0.80, lo cual indica un buen nivel de precisión en la clasificación temática. Los resultados de esta etapa de verificación pueden observarse en el anexo 1.

5.2.1.10 Raster a polígono

Con el fin de facilitar el análisis espacial y cuantitativo de las áreas clasificadas, se realizó la conversión del ráster clasificado a formato vectorial tipo polígono. El procedimiento se desarrolló utilizando la herramienta Ráster to Polygon. El resultado fue un shapefile de tipo polígono, donde cada clase del ráster quedó representada por polígonos independientes.

5.2.1.11 Eliminación de polígonos pequeños tras la conversión de ráster a polígono

Después de convertir el ráster clasificado a formato vectorial (polígono), fue necesario realizar un proceso de limpieza para eliminar los polígonos pequeños que no representaban coberturas significativas y que podían corresponder a errores de clasificación, ruido espectral o fragmentos irrelevantes. Para el desarrollo de esta actividad se utilizó la tabla de atributos del shapefile resultante del proceso, posterior a ello se utilizó la herramienta "Select By Attributes" para identificar los polígonos cuya área era menor o igual a 45,000 m² (equivalente a 4.5 hectáreas), Una vez seleccionados los polígonos pequeños, se utilizó la herramienta "Eliminate" (Editing Tools > Eliminate) para eliminarlos o fusionarlos con polígonos adyacentes más grandes de la misma clase. Este paso fue clave para reducir errores de sobreclasificación, evitar la fragmentación de polígonos y conservar únicamente las áreas significativas en términos de cobertura y cambio.

5.2.1.12 Animación multitemporal (2016-2023) ArcGIS Pro

La animación multitemporal se desarrolló teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- Preparación del mapa
- Se incorporaron al proyecto los ocho ráster GeoTIFF denominados CL_2016.tif ... CL_2023.tif. Cada capa se le asignó la misma simbología de valores únicos: Valor 1 = bosque (verde), Valor 2 = no bosque (marrón), Valor 3 = agua (azul).
- Las capas se ordenaron cronológicamente de la más antigua (2016) al fondo a la más reciente (2023) en la parte superior y se agruparon en un Group Layer llamado Clasificaciones para facilitar su gestión.
- Se añadió el mapa base “Lienzo gris oscuro” y se estableció una transparencia aproximada del 70 %.
- Con la vista centrada en el área de estudio, se activó Vista, Agregar, Animación, lo que generó la Línea temporal de animación.
- Se desactivaron todas las capas excepto CL_2016.tif y se creó el primer fotograma clave (keyframe), el cual almacenó la posición de la cámara y la visibilidad de capas correspondientes a 2016.
- Inserción de los fotogramas clave restantes. Para cada año se establecieron los siguientes parámetros, como se evidencia en la tabla 1:

Tabla 1

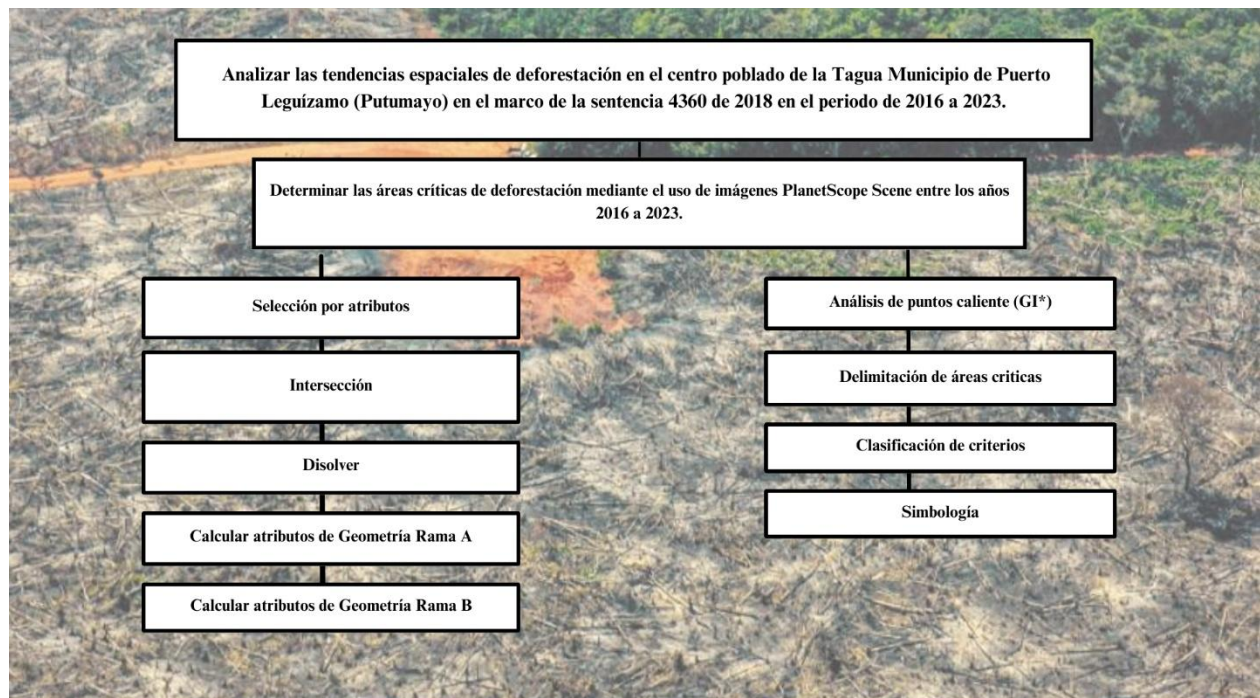
Parámetros de animación

Año	Acción	Tiempo asignado
2017	Se desplazó el cabezal de la línea temporal hasta 00:00 s + 2 s; se desactivó CL_2016 y se activó CL_2017; a continuación, se creó un nuevo fotograma clave.	2 s
2018-2022	Se repitió la operación, avanzando el cabezal en incrementos de 2 s y alternando la visibilidad de la capa correspondiente antes de crear cada fotograma.	+ 2 s por año
2023	El último fotograma quedó situado en 00:00 s + 14 s (8 años × 2 s).	14 s

5.3.1 Determinar las áreas críticas de deforestación mediante el uso de imágenes PlanetScope Scene entre los años 2016 a 2023.

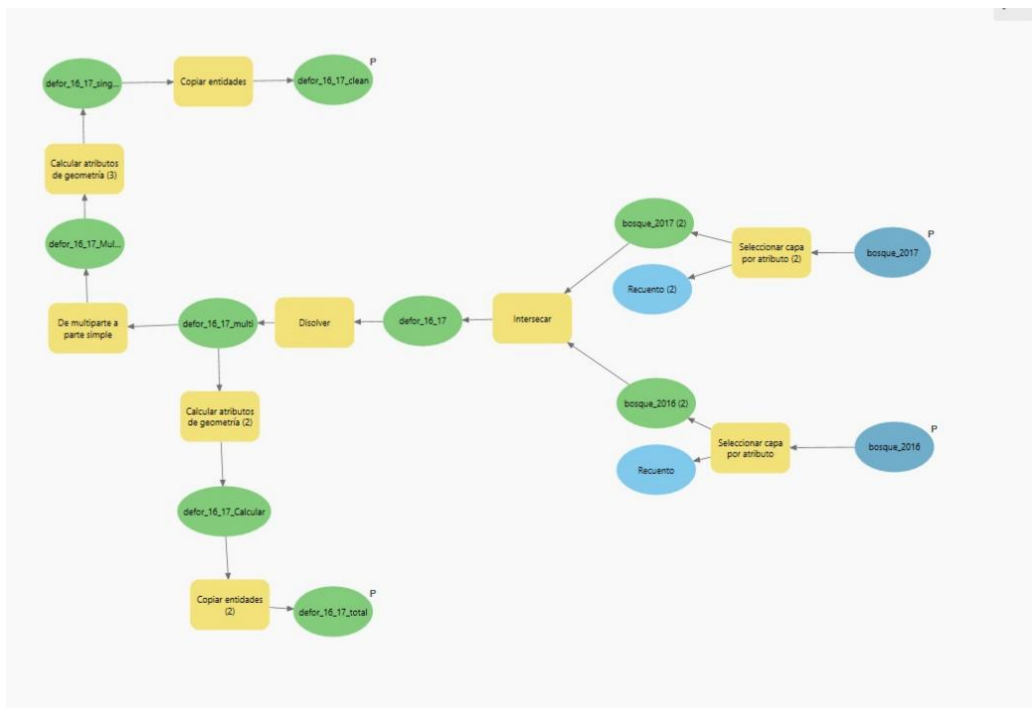
Para el cumplimiento del segundo objetivo de investigación, se implementó un análisis espacial orientado a detectar y caracterizar las áreas críticas de deforestación en el centro poblado de La Tagua, municipio de Puerto Leguizamo, entre los años 2016 y 2023, como se observa en la figura N°8. El procedimiento se basó en el procesamiento de coberturas clasificadas tipo ráster, previamente generadas mediante técnicas de clasificación supervisada, y consistió en una secuencia de operaciones vectoriales que permitieron identificar con precisión los polígonos donde ocurrió una transición directa de bosque a no bosque. Todos los insumos vectoriales de cobertura “bosque / no bosque” de los años 2016-2023 se reproyectaron al sistema CTM-12 y recibieron una nomenclatura homogénea (bosque_2016, bosque_2017 ... bosque_2023). Esta normalización garantiza la comparabilidad temporal y evita reprocesos al ejecutar análisis en lote.

Figura 8
Desarrollo metodológico Objetivo N° 2



Por consiguiente, para la ejecución del procedimiento se realizó un modelo automatizado de pérdida anual, es decir un diseño de workflow en ModelBuilder con lógica paramétrica, para cada par de años $t / t+1$. En este orden de ideas, en la figura N°9, se observa el desarrollo del modelo:

Figura 9
ModelBuilder con lógica paramétrica



A continuación, se describe cada etapa del flujo metodológico:

5.3.1.1 Selección por atributos

Para el desarrollo de esta actividad, se utilizó consecutivamente la herramienta “Seleccionar capa por atributo” sobre los shapefiles vectorizados correspondientes a los años consecutivos. En primera instancia, se seleccionaron los polígonos clasificados como bosque ($\text{gridcode} = 1$) en el año t . En la segunda instancia, se seleccionaron los polígonos clasificados como no bosque ($\text{gridcode} = 2$) en el año $t + 1$. Esta operación asegura que solo se consideren aquellas unidades de

paisaje con transición directa bosque → no bosque, excluyendo otras clases como cuerpos de agua o nubes que pueden inducir ruido en el análisis

5.3.1.2 Intersección

Con las dos capas filtradas (bosque en t y no bosque en t+1), se empleó la herramienta “Intersectar” para generar una nueva capa con los polígonos coincidentes en ambas condiciones espaciales. El polígono resultante corresponde por definición, a las áreas que eran bosque en el año inicial y han dejado de serlo en el año siguiente, por lo tanto, constituye el primer mapa bruto de pérdida.

5.3.1.3 Dissolver

Se aplicó la herramienta “Dissolver” sobre la capa de intersección para fusionar todos los polígonos en una única entidad multiparte, eliminando vértices redundantes y pequeños “slivers” generados por diferencias mínimas en los bordes. Esto permite generar una geometría limpia, optimizada para análisis posterior, evitando sobreestimaciones de área o perímetro.

5.3.1.4 Calcular atributos de geometría rama a

A partir del multiparte limpio se abren dos ramas paralelas. En primera instancia, en la rama A se ejecuta Calcular atributos de geometría configurado con “Área (plana)” y unidades en hectáreas. De esta manera, se calcula el campo Area_ha_total, que representa la superficie global perdida durante el período. El valor se asienta en metros planos dentro de la proyección CTM-12, cuya distorsión de área en la escala municipal es menor al 1 %. La salida se graba con Copiar entidades como defor_t_t1_total, este archivo de un solo registro es perfecto para series temporales y cuadros oficiales de reporte.

5.3.1.5 Calcular atributos de geometría rama b

En la rama B la herramienta Multipart to Singlepart se descompone el multiparte y devuelve cada claro como un polígono individual. Sobre esos parches se vuelve a ejecutar Calcular atributos de geometría, esta vez escribiendo el campo Area_ha (también área plana en hectáreas) para cada feature. Finalmente, copiar entidades exportar la capa resultante como defor_t_t1_clean, lista para análisis de tamaño de claros, hot-spots, distancias a carreteras, fragmentación, etc.

En conjunto, la cadena de geoprocursos filtra la transición bosque/no-bosque, delimita geoméricamente la deforestación, depura y ofrece dos productos complementarios: como primer resultado un multiparte, ligero, ideal para cifras globales, y por último, un single-part, pormenorizado, apto para estudios espaciales finos.

Los anteriores pasos constituyen la columna vertebral del modelo el cual se replicó por lotes para cada par de años en el periodo 2016-2023. Luego de aplicar el modelo se aplicó al resultado final el análisis de puntos calientes descrito a continuación.

5.3.1.6 Análisis de puntos calientes (G_i^*)

A partir de cada capa defor_clean se aplicó Optimized Hot Spot Analysis con las siguientes especificaciones: una de las pautas fue establecer Variable de análisis: suma de Area_ha. Como segundo punto, Fishnet: 2 km \times 2 km (resolución que maximizó la significancia global). Y por último, Conceptualización: distancia fija de 4 km y corrección FDR.

En este sentido, la herramienta clasificó cada celda de la malla en siete niveles ($G_i_Bin \pm 3 \rightarrow 0$). Es pertinente mencionar que para el desarrollo de este estudio se conservaron únicamente las celdas +2 y +3 ($\geq 95\%$ de confianza).

La finalidad principal de este proceso fue identificar, con sustento estadístico, los focos espaciales donde la deforestación reciente se concentra de manera anómala y significativa, a fin de:

- Delinear “Áreas Críticas de Deforestación” (hotspots).
- Cuantificar la intensidad del fenómeno (hectáreas afectadas por celda) y no sólo su presencia/ausencia.

- Reducir el sesgo visual propio de los mapas de cambio brutos, utilizando un esquema de significancia que descarte agrupamientos producto del azar.

5.3.1.7 Delimitación de áreas críticas

Con el objetivo de obtener un mapa consolidado 2016-2023 de áreas críticas, se realizaron las siguientes funciones teniendo en cuenta criterios de significancia estadística (hotspots) y criterio de área:

- Filtrado anual: extracción de las celdas $G_i_Bin \geq 2$.
- Integración multianual: Merge + Dissolve + Multipart-to-Singlepart, generando hotspots_gi2_single.
- Cálculo de superficie: adición del campo Area_ha (hectáreas).
- Umbral operativo: se establecieron dos cortes prácticos: ≥ 25 ha (tala mecanizada / ganadería extensiva) y 10-25 ha (parcelas agrícolas).

5.3.1.7 Clasificación de criterios

Se creó el atributo Criticidad mediante la expresión Arcade, que pondera simultáneamente el nivel de confianza estadística y el volumen de bosque afectado, para ello se tuvo en cuenta los siguientes valores:

- Crítica muy alta: $G_i_Bin = 3$ y $Area_ha \geq 25$ ha.
- Crítica alta: $G_i_Bin = 3$ y $10 \leq Area < 25$ ha o $G_i_Bin = 2$ y $Area \geq 25$ ha.
- Crítica media: $G_i_Bin = 3$ y $Area < 10$ ha o $G_i_Bin = 2$ y $10 \leq Area < 25$ ha
- Crítica baja: $G_i_Bin = 2$ y $Area < 10$ ha.

El umbral superior de 25 ha se justifica en la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra (esc. 1:100 000), que fija ese valor como área mínima cartografiable, garantizando relevancia paisajística y compatibilidad con protocolos del IDEAM-IGAC.

5.3.1.8 Simbología

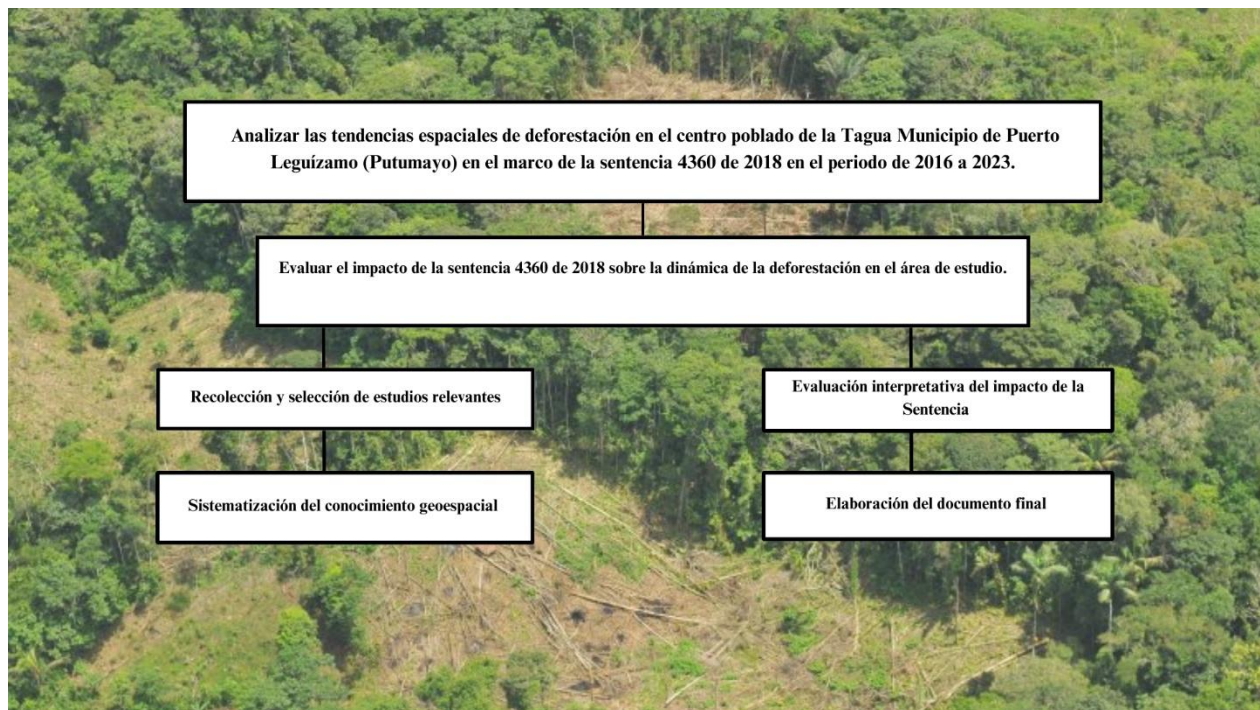
Se asignaron colores RGBA coherentes (rojo vino → amarillo) y la clase Null se ocultó, generándose un layer file (.lyrx) para reutilizar la simbología sin nueva edición en sesiones posteriores.

5.4.1 *Evaluar el impacto de la sentencia 4360 de 2018 sobre la dinámica de la deforestación en el área de estudio.*

Para evaluar el impacto de la Sentencia 4360 de 2018 sobre la dinámica de la deforestación en el centro poblado La Tagua, municipio de Puerto Leguizamo (Putumayo), se realizó a partir del análisis crítico de estudios técnicos y académicos que aborden la deforestación en la Amazonía y el análisis de las tendencias de deforestación encontradas con el resultado de los anteriores objetivos, de esta manera se propone la siguiente metodología:

Figura 10

Desarrollo metodológico Objetivo N°3



5.4.1.1 Recolección y selección de estudios relevantes

Se realizará una búsqueda y revisión sistemática de estudios que: analicen los patrones y tendencias de deforestación en la Amazonía colombiana, particularmente en Putumayo, hagan uso de imágenes satelitales, análisis multitemporal o SIG para detectar cambios en la cobertura boscosa y evalúen impactos territoriales posteriores a la firma del Acuerdo de Paz y la expedición de la Sentencia 4360 de 2018.

5.4.1.2 Sistematización del conocimiento geoespacial

A partir de los estudios seleccionados, se recopilará información sobre: zonas críticas identificadas mediante herramientas SIG, periodos de análisis y fuentes satelitales empleadas (PlanetScope).

5.4.1.3 Evaluación interpretativa del impacto de la Sentencia

Con base en los hallazgos de los estudios revisados, se realizará un análisis interpretativo para determinar si los patrones de deforestación han disminuido, se han desplazado o se han intensificado tras la Sentencia, si las causas de la deforestación identificadas persisten en el tiempo sin intervención eficaz, si existen signos de falta de control institucional y ausencia de medidas efectivas en el área de estudio.

5.4.1.4 Elaboración del documento final

El desarrollo de esta actividad implica la redacción y presentación de un informe detallado que resuma todos los procesos, resultados y conclusiones del análisis sobre la deforestación en el Centro Poblado Rural la Tagua, Municipio de Puerto Leguizamo, Putumayo, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y considerando el marco legal de la sentencia 4360 de 2018.

6 Resultados

6.1 Identificar espacialmente las tendencias temporales de deforestación en el Centro Poblado Rural de la Tagua Municipio de Puerto Leguizamo (Putumayo), entre los años 2016 a 2023, mediante la aplicación de la técnica de clasificación supervisada en ArcGIS Pro.

Para comprender las tendencias temporales de deforestación en la zona de estudio, es importante contextualizar el panorama que se desarrolla tras la firma del acuerdo de paz entre el Estado colombiano y las FARC en el año 2016, el cual marcó una transición en el territorio colombiano. Factores como la suspensión de la fumigación aérea, la restitución de tierras, la construcción de infraestructura, el acceso a zonas antes restringidas y la consolidación de economías ilegales (cultivos ilícitos, minería, tala y ocupación de áreas protegidas) incrementaron la presión sobre los bosques.

En este sentido, en la Amazonia, y en particular en zonas aisladas como la zona rural de La Tagua, se ha intensificado la pérdida de bosque debido a la mayor accesibilidad y a la expansión de la frontera agropecuaria, impulsada en gran parte por los cultivos de uso ilícito y el acaparamiento de tierras. La evidencia muestra que el cambio en la dinámica de deforestación coincide con las etapas de negociación y postacuerdo, y que el periodo de transición hacia una eventual reducción será más prolongado de lo previsto.

De acuerdo a lo anterior, el análisis de las tendencias temporales de deforestación en el Centro Poblado Rural de La Tagua entre los años comprendidos entre el periodo de tiempo 2016 - 2023 permite evidenciar cómo las transformaciones territoriales posteriores al acuerdo de paz han repercutido directamente sobre la cobertura forestal, así como también factores adyacentes al proceso de Paz. Este panorama se ha reflejado en actividades como la ganadería extensiva, el acaparamiento de tierras, los cultivos ilícitos y la tala no autorizada, especialmente en regiones con alta vulnerabilidad ecológica como el piedemonte amazónico putumayense. En este contexto, el seguimiento año a año de la cobertura de bosque y no bosque en La Tagua ofrece evidencias empíricas que permiten asociar los cambios en el uso del suelo con los procesos sociales y económicos, así como con las debilidades en la gestión ambiental del territorio. A continuación, se presentan los resultados detallados por año, integrando datos cuantitativos obtenidos a partir de la clasificación supervisada con fuentes institucionales y bibliográficas relevantes.

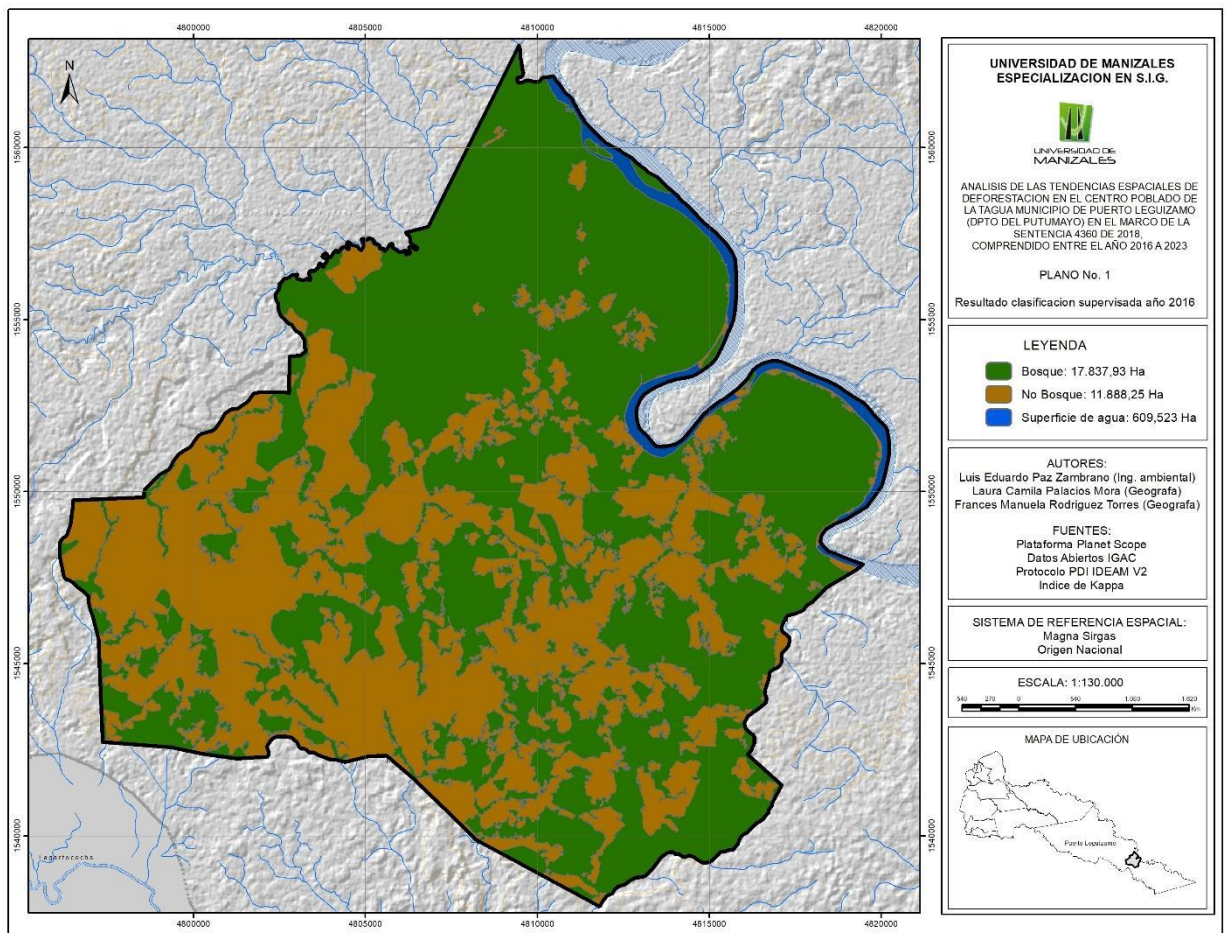
6.1.1 Tendencias temporales de deforestación año 2016 CP La Tagua

Durante el año 2016, el Centro Poblado Rural de La Tagua presentó una cobertura de 17,837.93 hectáreas de bosque frente a 11,888.25 hectáreas sin bosque, lo cual refleja un equilibrio aún dominante de cobertura forestal en el territorio. Sin embargo, a nivel nacional, este año representó un punto de quiebre en la tendencia de pérdida de cobertura boscosa, al registrarse un incremento del 44% en la deforestación respecto a 2015, pasando de 124.035 a 178.597 hectáreas deforestadas (IDEAM & MADS, 2020). Esta cifra marca uno de los picos más altos desde que el país implementó un sistema de monitoreo continuo de los bosques, y la región amazónica concentró más del 39% del total nacional de la pérdida de bosque.

El departamento del Putumayo, dentro del cual se ubica La Tagua, comenzó a consolidarse como una de las áreas más críticas en términos de deforestación. Factores como: La expansión de la frontera agropecuaria, el crecimiento de los cultivos ilícitos, la construcción de vías ilegales y la especulación con tierras

En correlación con el texto y de acuerdo a la figura N° 11, el año 2016, por tanto, representa el inicio de una nueva etapa en la transformación del uso del suelo en la región, donde las tensiones entre la conservación ambiental y los intereses económicos ilegales comenzaron a expresarse con mayor fuerza. Aunque los datos satelitales reflejan una alta proporción de bosque aún en pie, el contexto político, institucional y socioeconómico ya permitía prever un deterioro acelerado de la cobertura en los años siguientes.

Figura 11
Clasificación supervisada año 2016



Nota. Fuente Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia V.2.

6.1.2 Tendencias temporales de deforestación año 2017 CP La Tagua

El año 2017, estableció una ruptura de cobertura forestal continua en el Centro Poblado Rural de la Tagua, dando paso a un proceso de fragmentación del paisaje natural. Desde esta perspectiva, se observa una tendencia clara de disminución del bosque y aumento del no bosque, en el año 2016 el bosque representaba el 58,8 % del total del área analizada (17,837.93 Ha), y para el año 2017, esta proporción disminuyó de manera constante a un 52,3% (15,981,78 Ha), lo que evidencia una reducción de 1.856 hectáreas de bosque en un solo año, lo cual es una señal clara de

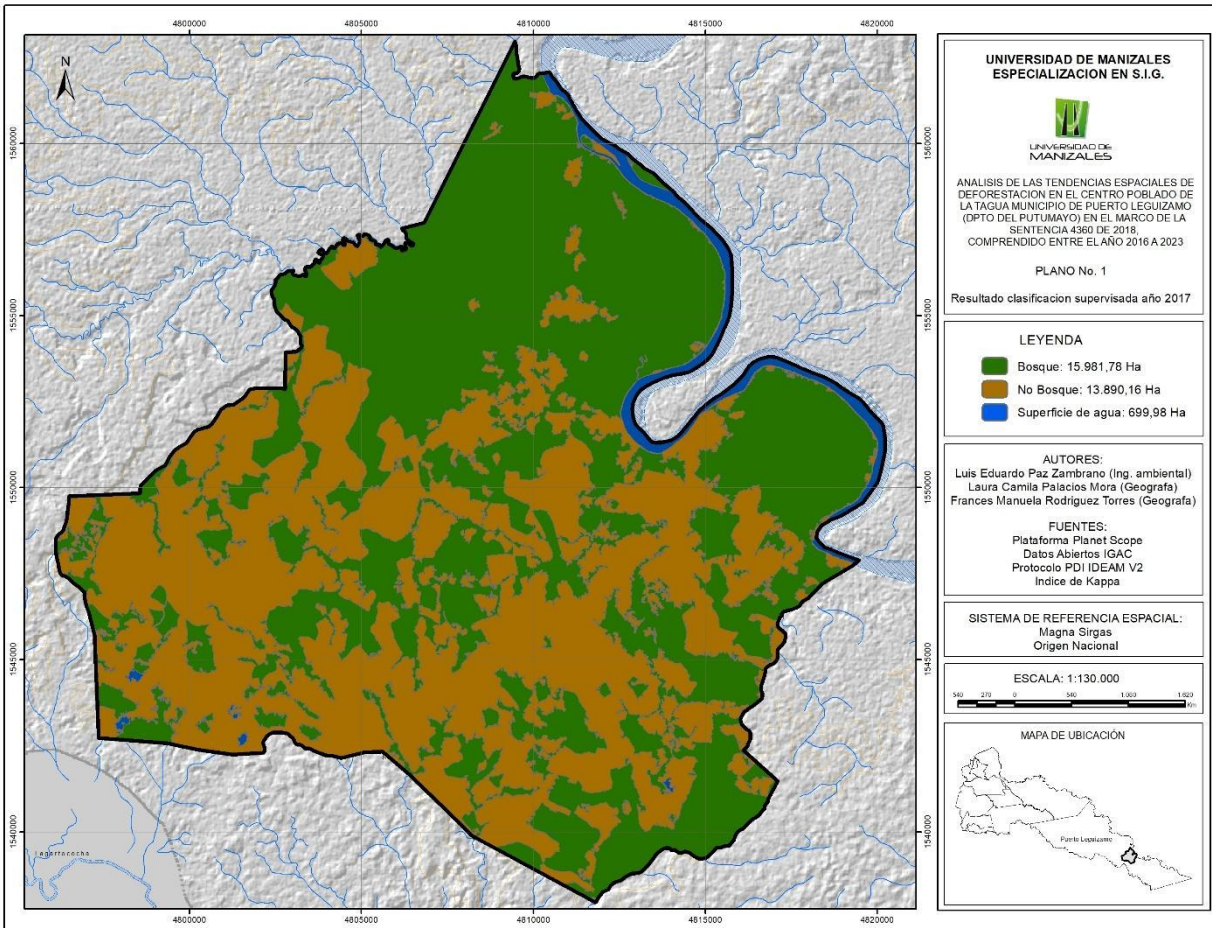
presión sobre los ecosistemas naturales, probablemente vinculada con actividades como la ganadería, los cultivos ilícitos o la expansión de áreas agrícolas.

Paralelamente la cobertura de No Bosque aumentó de 11.888,26 ha en 2016 a 13.890,17 ha en 2017, es decir, un crecimiento del 16,83 %. Esta dinámica puede estar influenciada por el contexto posterior al Acuerdo de Paz de 2016, que dio lugar al ingreso de nuevos actores al territorio, intensificando la presión sobre los recursos naturales.

De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, en su boletín anual para el año 2017, la Amazonía concentró más del 65 % de la pérdida forestal, con Putumayo entre los cinco departamentos más afectados, junto a Guaviare, Meta, Caquetá y Antioquia. En este orden de ideas, para el año 2017 la región amazónica duplicó la superficie deforestada con respecto a 2016, con un aumento considerable de 74.073 ha. Por consiguiente, se identificó un aumento en la concentración de la deforestación en esta región respecto al año 2016 cuando acumulo el 39% de la deforestación nacional. (IDEAM, 2018, Pg 6, 14).

En este orden de ideas, en el año 2017 el bosque se concentra principalmente en el sector norte y a lo largo de algunas franjas centrales y orientales, mostrando continuidad en las zonas menos intervenidas. Las áreas de “no bosque” se encuentran dispersas, pero con alta concentración en la zona sur y suroeste, evidenciando un patrón de fragmentación que podría estar asociado a actividades agrícolas y ganaderas, lo que refleja una alta fragmentación del bosque, con parches aislados rodeados de áreas sin cobertura forestal. La distribución intercalada de “bosque” y “no bosque” sugiere un proceso de deforestación progresiva, posiblemente derivado de la expansión agropecuaria y el aprovechamiento no planificado del territorio.

Figura 12
Clasificación supervisada año 2017



Nota. Fuente Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia V.2.

6.1.3 Tendencias temporales de deforestación año 2018 CP La Tagua

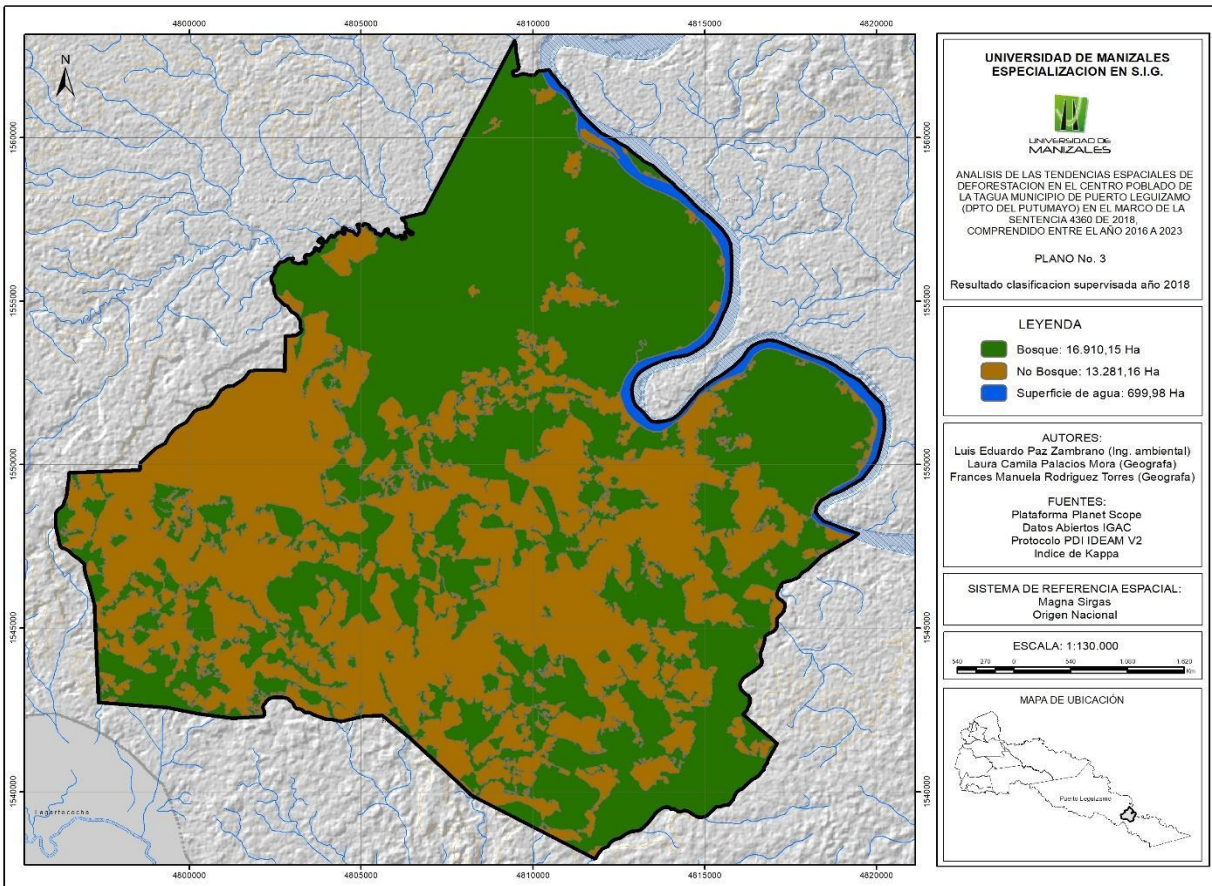
Durante el año 2018, se observa una recuperación parcial en la cobertura boscosa en La Tagua, al pasar de 15,981,78 ha en 2017 a 16,910,15 ha, lo que representa un aumento aproximado de 928,37 hectáreas de bosque con respecto al año 2017. Esta recuperación, aunque temporal, podría estar relacionada con las fluctuaciones en los procesos locales de uso del suelo, la presión de actores ilegales, y posibles intervenciones institucionales de corto alcance. Paralelamente, el área clasificada como “no bosque” se redujo de 13,890,16 ha en 2017 a 13,281,16 ha en 2018, reflejando una disminución de 609 ha, un cambio que podría obedecer tanto a una reducción en la

intensidad de actividades extractivas ilegales como a una posible regeneración natural en zonas previamente intervenidas. De acuerdo con la figura N° 13, el bosque en el año 2018 muestra una franja más amplia y compacta en la parte central y oriental. Las zonas de no bosque siguen distribuyéndose de forma dispersa, pero con menos “claros” nuevos respecto al año anterior.

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en el año 2018 se evidenció una reducción en los niveles de deforestación en la región amazónica, en comparación con los registros del año anterior. En total, la pérdida de cobertura boscosa disminuyó en 5.971 hectáreas. A pesar de esta reducción, la Amazonia continuó concentrando la mayor parte del fenómeno, al representar el 70,1 % del total de la deforestación nacional durante ese año. El principal foco de deforestación se ubicó en el sur del departamento del Meta (IDEAM, 2019, p. 7). En este orden de ideas, durante el 2018 el 72% de la deforestación se concentró en 9 núcleos principales: cultivos de uso ilícito, malas prácticas de ganadería extensiva, extracción ilícita de minerales, infraestructura de transporte no planificada, ampliación de la frontera agrícola en áreas no permitidas, tala ilegal.

Es pertinente mencionar que a pesar de que, en el año 2018, se registró una leve disminución del 10 % en la tasa nacional de deforestación respecto al año anterior, la región amazónica continuó siendo el núcleo del problema, concentrando el 66 % del total de la pérdida de cobertura forestal en el país (IDEAM, 2019). Desde esta perspectiva, el ligero aumento de cobertura forestal en 2018 debe ser entendido con cautela, puesto que no representa una tendencia de conservación sostenida, sino una variabilidad dentro de un contexto de presión constante sobre los ecosistemas, donde la expansión agrícola, la especulación predial y las actividades ilícitas continúan siendo los principales motores del cambio de cobertura en la región.

Figura 13
Clasificación supervisada año 2018



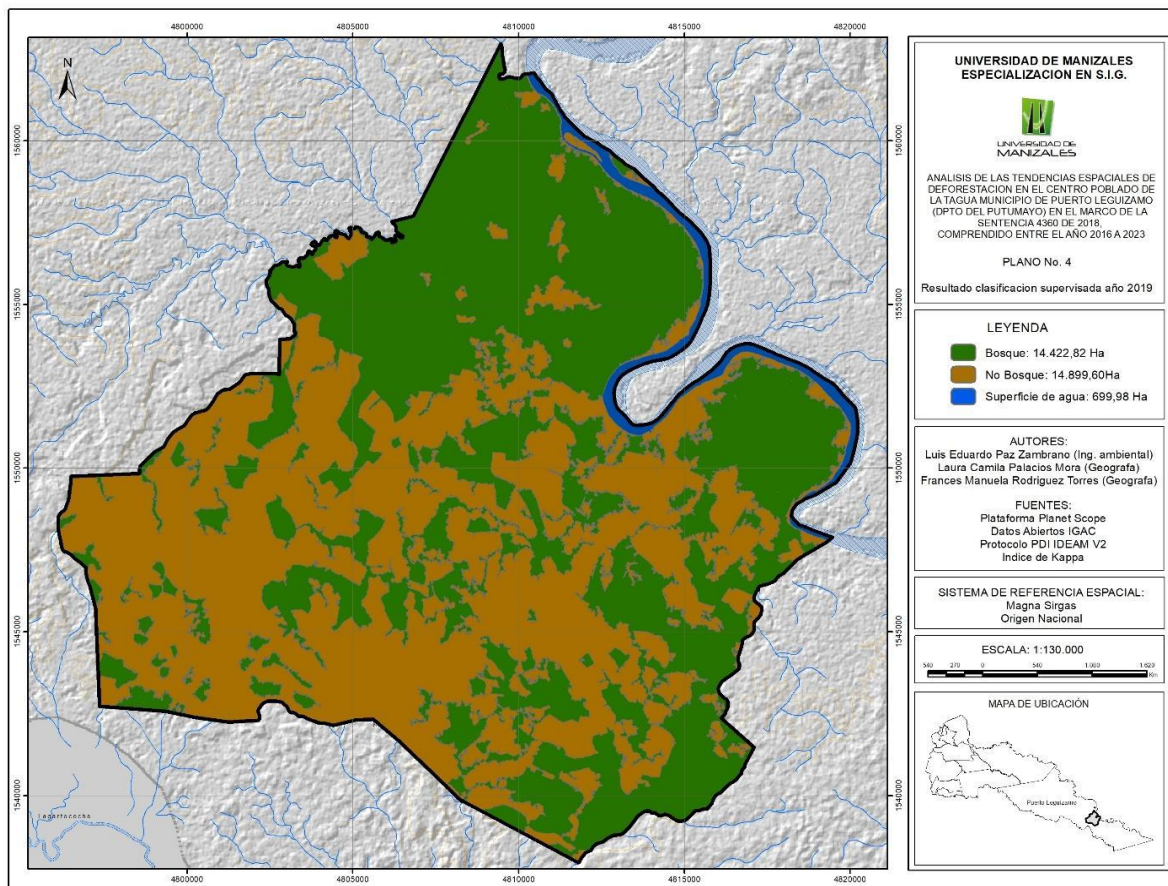
Nota. Fuente Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia V.2.

6.1.4 Tendencias temporales de deforestación año 2019 CP La Tagua

Durante el año 2019, el sector rural de La Tagua evidenció una importante pérdida de cobertura boscosa, descendiendo de 16,910,15 ha en 2018 a 14,422,82 ha, lo que representa una pérdida neta de 2.487,34 ha. Este año presenta el punto más bajo de cobertura boscosa en la serie, con pérdidas concentradas en el sur y centro, aumentando la fragmentación y los parches no boscosos.

Esta reducción se enmarca en un panorama regional y nacional complejo. De acuerdo Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – IDEAM. (2020), en el año 2019, la reducción de la deforestación fue del 19%, mientras que en el año 2018 fue del 10%, confirmando la reducción de este flagelo en el país en los últimos dos años. A su vez, la región amazónica evidenció la mayor disminución de deforestación en el país. Con este resultado se evitó la deforestación de 38.264 hectáreas de bosques en el 2019. Comparado con 2018, la Amazonía pasó de representar el 70% de la deforestación en el país a representar el 62% para 2019 (pg, 12). A pesar de ello, los resultados observados en La Tagua evidencian una dinámica contraria a la tendencia nacional, con un aumento significativo en la pérdida de cobertura boscosa. Esta diferencia pone de manifiesto la importancia de realizar análisis a escala local o territorial, que permitan comprender con mayor precisión la variabilidad espacial del fenómeno de la deforestación.

Figura 14
Clasificación supervisada año 2019



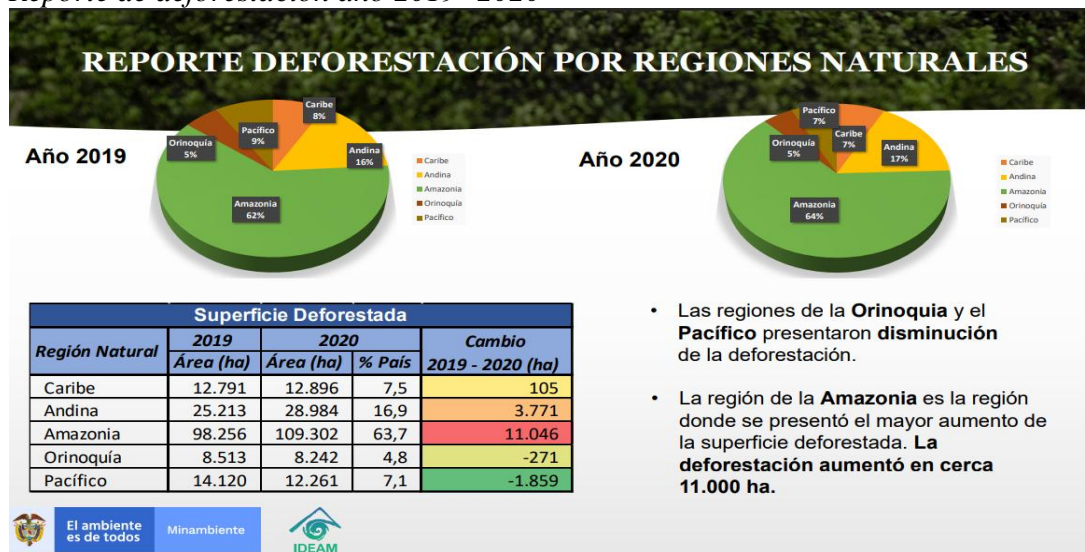
Nota. Fuente Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia V.2.

6.1.5 Tendencias temporales de deforestación año 2020 CP La Tagua

En el año 2020, La Tagua registró una ligera recuperación de la cobertura boscosa, pasando de 14,422,82 ha en 2019 a 14,614,35 ha en 2020, es decir, una ganancia neta de 191,53 hectáreas. A pesar de ello, se observó un comportamiento abrupto en la categoría de no bosque al aumentar progresivamente 464,18 hectáreas en el año 2020, lo que representa un aumento del 3,11 %. Cabe resaltar que, aunque la pérdida de bosque se desacelera respecto al año 2019, se mantiene la tendencia de expansión de no bosque, principalmente hacia la parte suroccidental del área de estudio. No obstante, el crecimiento simultáneo del área no boscosa sugiere que los procesos de transformación del territorio continúan activos, aunque de manera más dispersa o localizada. Este comportamiento indica una etapa de transición, donde existen áreas en regeneración con nuevas zonas de intervención humana

En este orden de ideas, en el informe, “Resultados de monitoreo de deforestación del año 2020 y primer trimestre del año 2021”, realizado por el Ministerios del Medio Ambiente y el IDEAM 2021, expreso que la región de la Amazonia fue uno de los territorios donde se presentó el mayor aumento de la superficie deforestada, aumentando alrededor de 11.000 Ha, como se observa en la figura 15.

Figura 15
Reporte de deforestación año 2019 -2020

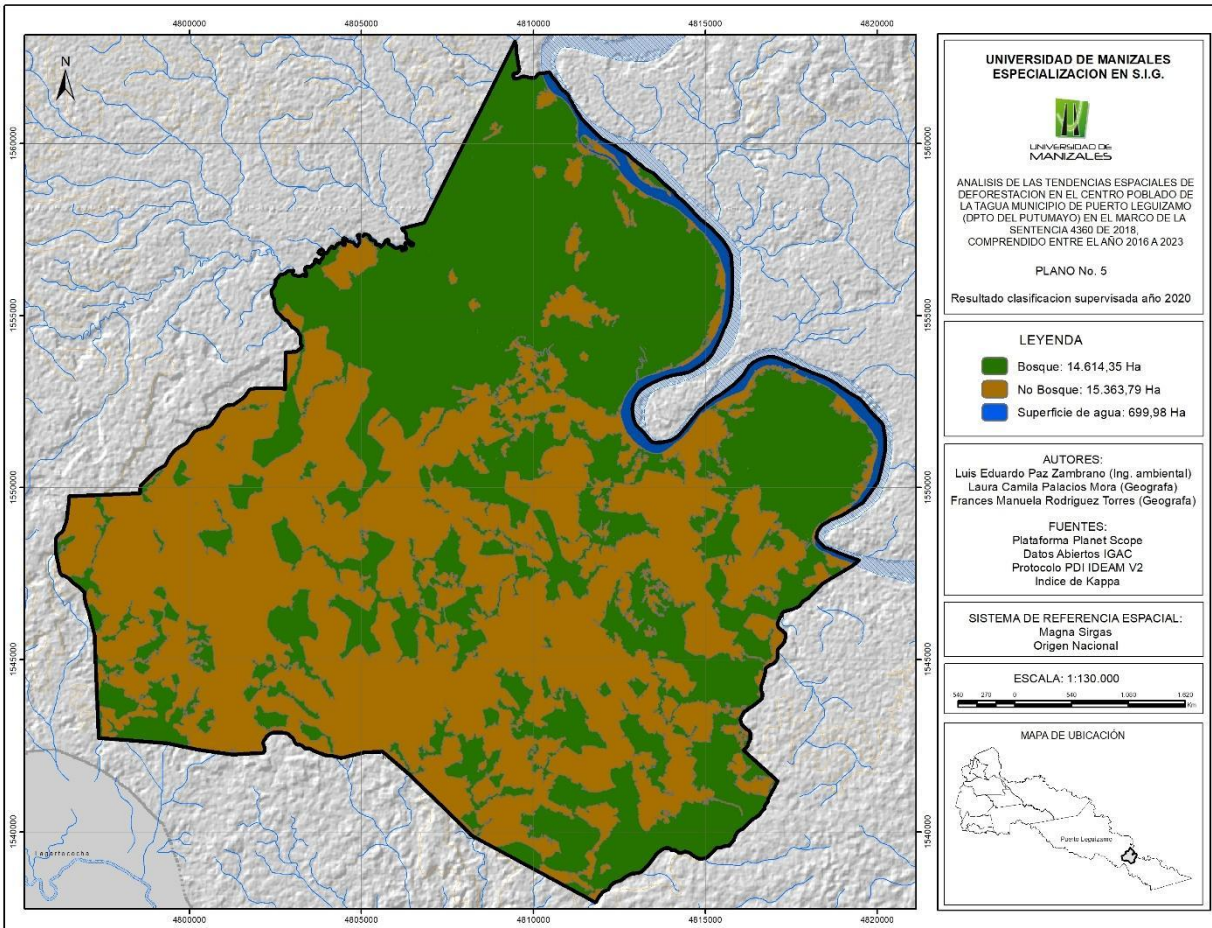


De acuerdo al informe es pertinente mencionar que, las causas directas de la deforestación continúan con una tendencia creciente hacia los cultivos de uso ilícito a nivel nacional, de acuerdo al censo de cultivos de coca para el año 2020 fue de 143.000 Ha, de las cuales 12.939 ha deforestadas directamente por cultivos de uso ilícito es decir un 7,54% del total nacional (IDEAM, 2021, pg 9).

A pesar de esta tendencia general, algunas zonas como La Tagua mostraron cierta estabilización o incluso recuperación forestal, lo que puede estar relacionado con múltiples factores, tales como: una reubicación temporal de actividades ilegales (ganadería extensiva, acaparamiento de tierras, cultivos ilícitos), que históricamente han ejercido presión sobre los ecosistemas locales, implementación de acciones puntuales de conservación. Adicionalmente, el informe de Visión Amazonía resalta que en 2020 se fortalecieron más de 200 organizaciones comunitarias para mejorar la gestión del territorio, muchas de las cuales operan en municipios amazónicos como Puerto Leguizamo. Esto sugiere que, aunque a pequeña escala, algunas intervenciones territoriales sí tuvieron efectos positivos y mensurables, como parece evidenciarse en La Tagua.

No obstante, dado el entorno de alta vulnerabilidad territorial y el rol de Putumayo como parte del corredor crítico de deforestación amazónica, esta tendencia positiva es frágil y susceptible a revertirse si no se consolidan procesos sostenibles de ordenamiento, control territorial y alternativas económicas locales.

Figura 16
Clasificación supervisada año 2020



Nota. Fuente Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia V.2.

6.1.6 Tendencias temporales de deforestación año 2021 CP La Tagua

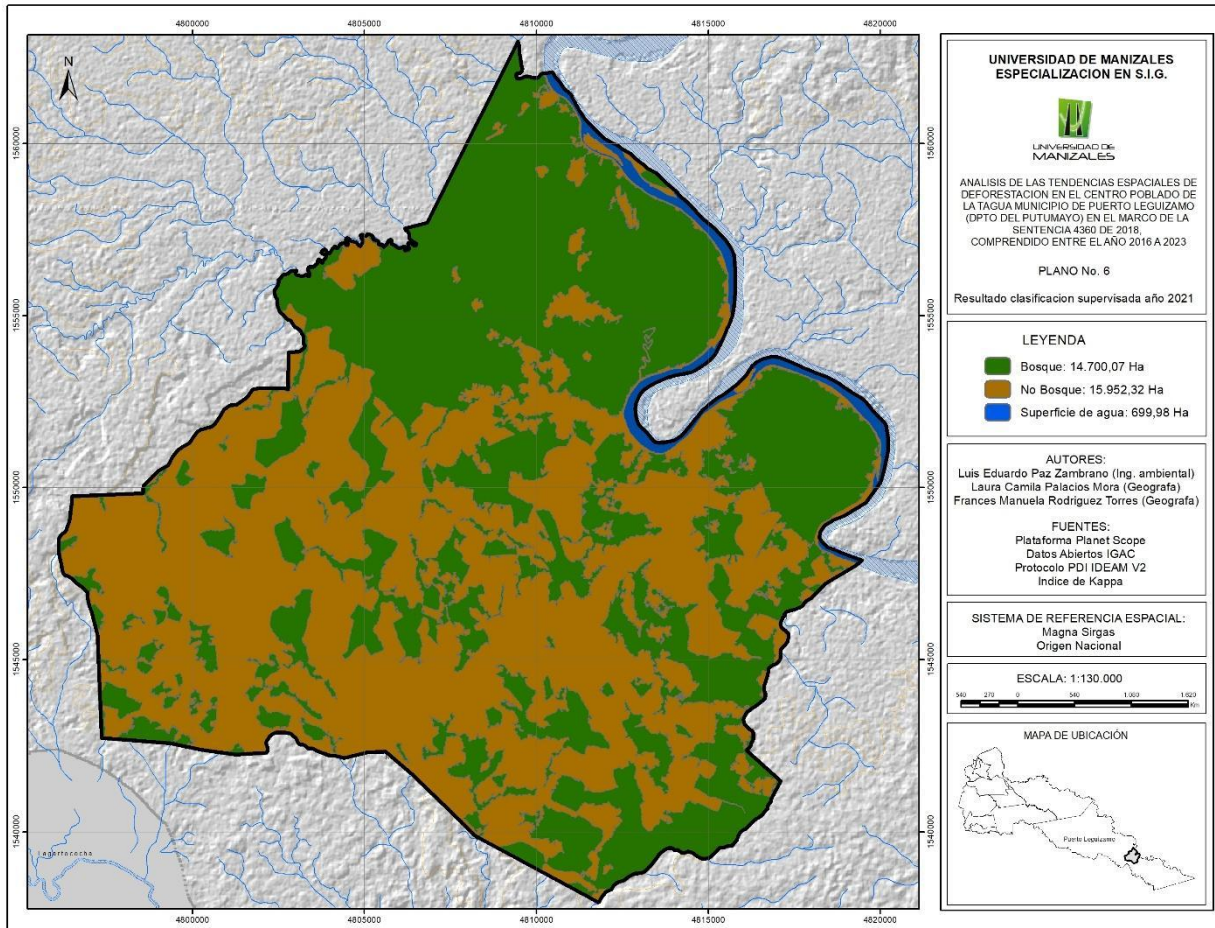
Durante el año 2021, la zona rural de La Tagua evidenció un leve aumento en su cobertura boscosa, pasando de 14,614,35 hectáreas en 2020 a 14,700,07 hectáreas en 2021, lo que representa un aumento de 85,73 ha, con un crecimiento del 0,59 % respecto al año anterior. La reducción boscosa continúa, afectando zonas centrales y orientales cercanas a los cuerpos de agua, lo que puede estar relacionado con actividades antrópicas en áreas de fácil acceso. Aunque el incremento es pequeño, refleja una tendencia de estabilidad o regeneración moderada, en línea con el patrón iniciado en 2020. Sin embargo, el ritmo de recuperación sigue siendo muy bajo frente a la magnitud de la deforestación observada en años anteriores.

En este orden de ideas, aunque el bosque muestra una tendencia leve de recuperación por segundo año consecutivo, el avance del área no boscosa es mayor, lo que sugiere una presión continua sobre el entorno natural, aumentando en 588,53 ha, lo que equivale a un incremento del 3,83 %, sugiriendo que las actividades antrópicas continúan expandiéndose, asociadas con agricultura, ganadería o colonización informal.

Según el IDEAM (2022), “la actualización de la cifra oficial de deforestación para el año 2021 permite identificar que en Colombia se perdieron 174.103 ha identificándose un aumento del 1,5 % respecto de la pérdida reportada para el año 2020. Este resultado se identifica como el tercer más bajo para los últimos seis años (2016-2021), que resulta también ser menor que el promedio de deforestación reportado para este mismo periodo (183.193 ha)” pg, 8.

A nivel regional, las cifras obtenidas reportan que las áreas de cambio en la cobertura de bosque natural durante el año 2021 se concentran principalmente en las regiones de la Amazonia (64,8 %). En estos resultados se destaca el incremento de la deforestación en la amazonia, pasando de 109.302 ha en el año 2020 a 112.899 ha en el año 2021. A nivel municipal se observó que para el año 2021 en 536 municipios registró al menos 1 ha deforestada, y que en 25 municipios se concentró el 75% de la deforestación nacional.

Figura 17
Clasificación supervisada año 2021



Nota. Fuente. Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia V.2.

6.1.7 Tendencias temporales de deforestación año 2022 CP La Tagua

En 2022, la cobertura boscosa en La Tagua aumentó significativamente, pasando de 14,700,07 ha en 2021 a 16,683,33 ha, lo que representa un incremento notable de 1.983,26 hectáreas, es decir el 13,49% con respecto a 2021. Este año marca una recuperación notable del bosque, especialmente en el norte y centro del área de estudio, posiblemente por regeneración natural o menor presión antrópica. Este crecimiento es considerado el mayor aumento interanual de cobertura boscosa desde el inicio de la serie temporal (2016) y sugiere intervenciones o condiciones favorables que permitieron frenar la presión del uso del suelo, así como también, como

cobertura vegetal secundaria (bosque joven o en recuperación), que tiende a ser clasificada como bosque en análisis supervisados.

Paralelamente, la cobertura no boscosa se redujo en 1.964 hectáreas, lo que equivale a una disminución del 12,31 %, representando un punto de cambio positivo en la dinámica de la cobertura forestal, evidenciando una recuperación significativa del bosque acompañada por una disminución notable en las áreas intervenidas.

Según el IDEAM (2023), “Los resultados de monitoreo para el año 2022 permiten identificar que en Colombia se presentó una superficie deforestada de 123.517 ha, que se constituye como la cifra oficial de deforestación para el país. Con este resultado es posible analizar una reducción del 29,1 % respecto de la pérdida reportada en 2021. La dinámica de la superficie deforestada en Colombia para los últimos diez años (periodo 2013-2022) muestra que en 2022 se rompió la tendencia de aumento de la deforestación de los últimos dos reportes anuales (2020 y 2021), y evidencia que se regresó a cifras de deforestación que no se presentaban en Colombia desde 2015, lo que refleja un avance en el cumplimiento de metas nacionales contenidas en el Plan Nacional de Desarrollo y la Declaración Conjunta de Intención” pg,25.

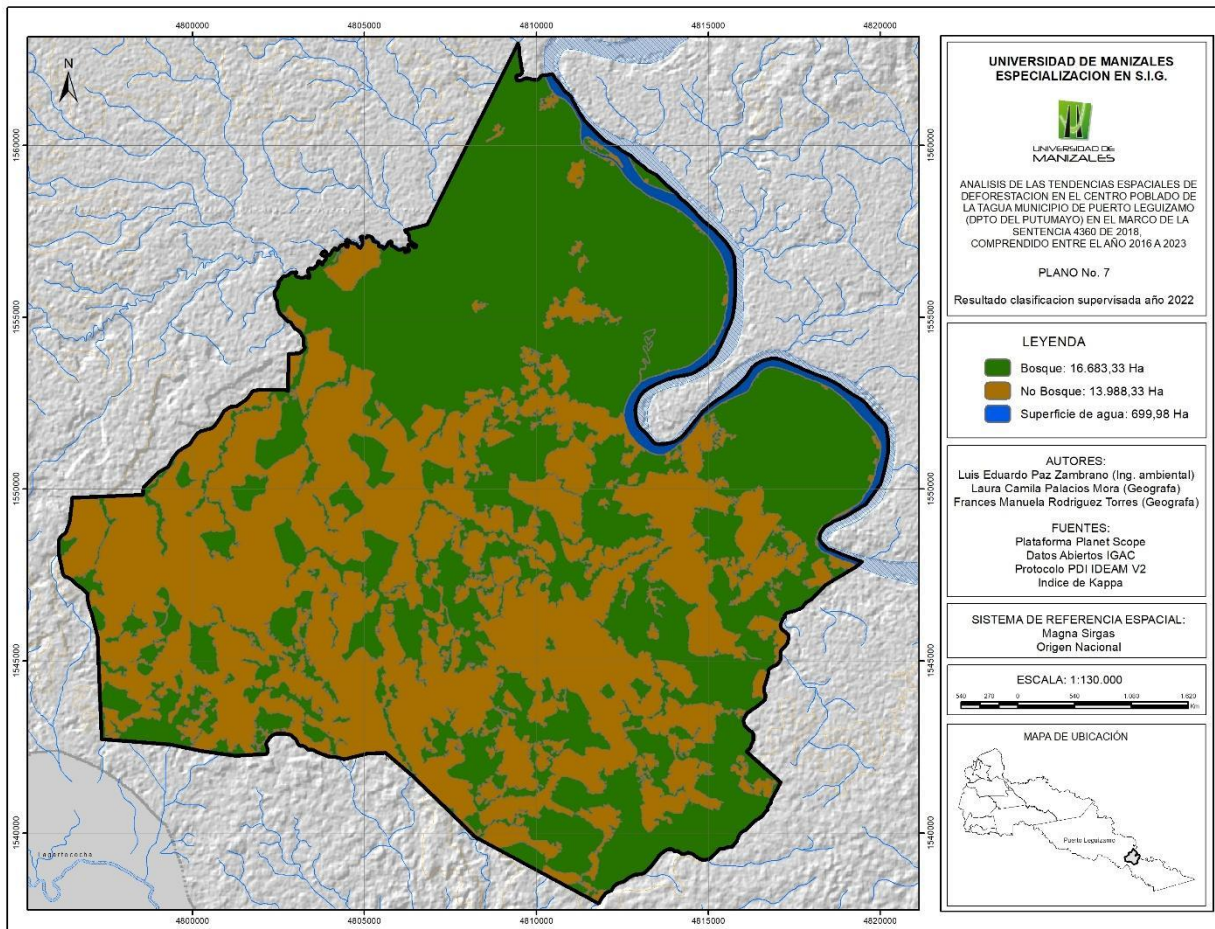
A escala regional, las cifras obtenidas reportan que las áreas de cambio en la cobertura de bosque natural durante 2022 se concentran principalmente en las regiones de la Amazonia con un 58%. En estos resultados se destaca la reducción de la deforestación en el bioma de la Amazonia, pasando de 112.899 ha en 2021 a 71.185 ha en 2022, es decir, una reducción del 37 %, que es mayor al resultado nacional.

En general, la región de la Amazonia presenta una fuerte desaceleración en sus principales núcleos (sabanas del Yará-Caguán, Guaviare-Marginal de la Selva, Sur del Meta y Mapiripán) y en los frentes de deforestación. No obstante, el límite noroccidental del departamento del Putumayo constituye la principal excepción a esta tendencia regional, con áreas que presentan un comportamiento más concentrado hacia la aceleración de la deforestación.

A pesar de que el IDEAM (2023) advierte que el límite noroccidental del Putumayo donde se localiza la zona rural de La Tagua constituye una excepción a la desaceleración general de la deforestación observada en la Amazonía, los resultados obtenidos mediante la clasificación supervisada de imágenes satelitales PlanetScope indican una leve recuperación de la cobertura boscosa en esta zona. Esta aparente contradicción, permite observar dinámicas específicas que no siempre se reflejan en los patrones generales. Es decir, aunque el Putumayo en su conjunto haya

presentado un comportamiento de aceleración en la pérdida de bosque en algunos sectores, como La Tagua podrían haber experimentado procesos de regeneración natural o pausas temporales en las actividades antrópicas que favorecieron la recuperación del bosque

Figura 18
Clasificación supervisada año 2022



Nota. Fuente. Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia V.2.

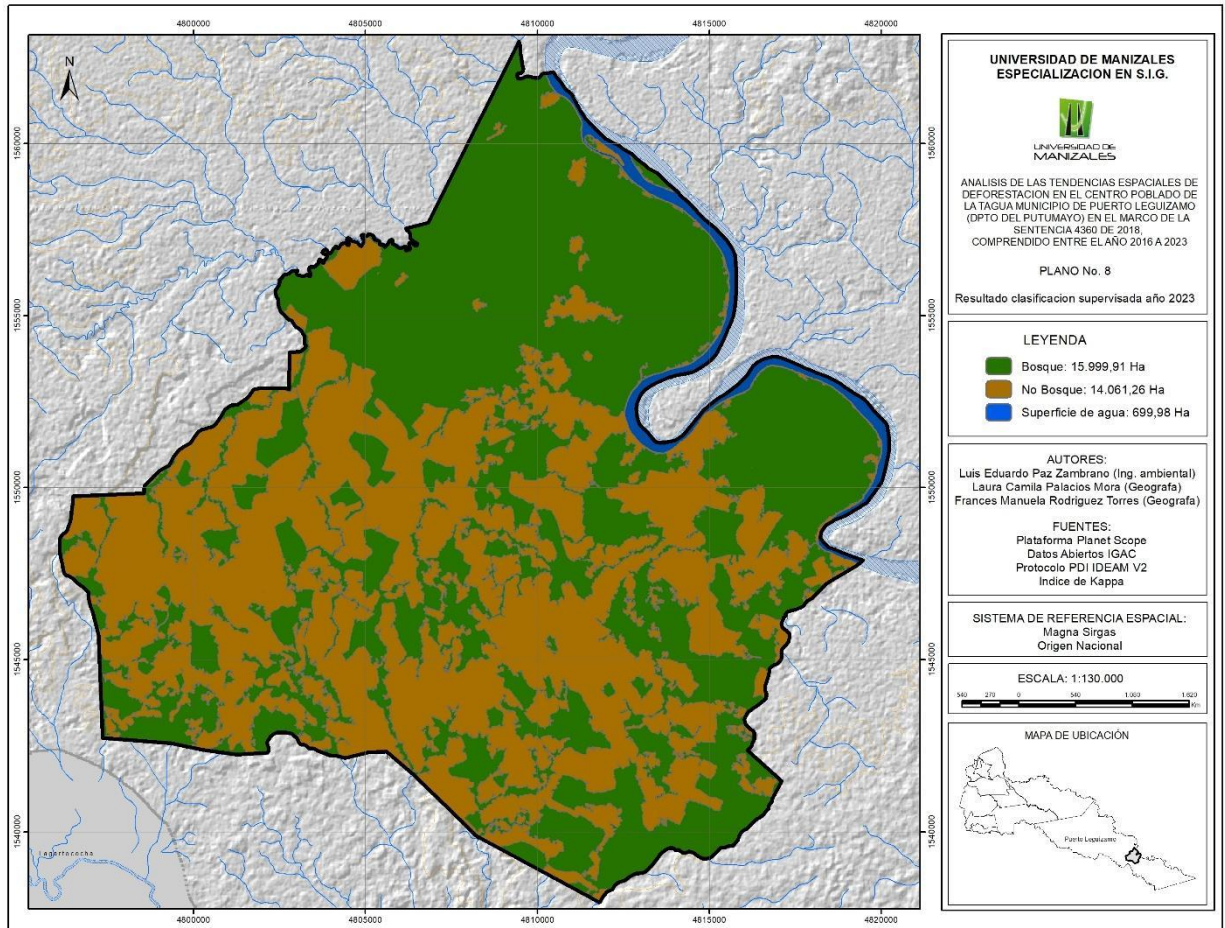
6.1.8 Tendencias temporales de deforestación año 2023 CP La Tagua

Durante el año 2023, la cobertura boscosa en la zona rural de La Tagua descendió de 16,683,33 ha para el año 2022 a 15,999,91 ha en el año 2023, con una reducción en 683,42 hectáreas, equivalente a una pérdida del 4,10 %, esta disminución representa una ruptura en la tendencia positiva observada en 2022, cuando el bosque había crecido más de 1.900 ha. El retroceso

sugiere un nuevo impulso en las presiones antrópicas sobre el territorio acompañado de procesos de deforestación reactivada, presión por actividades agrícolas o ganaderas, o con reclasificaciones de áreas en transición. Aunque se mantiene un nivel de bosque superior a 2019–2021, hay una ligera reducción respecto a 2022, con nuevas áreas de no bosque dispersas en el centro y sur del área de estudio.

De acuerdo al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2024, “los resultados de monitoreo para el 2023, en Colombia se estimó una superficie deforestada de 79.256 hectáreas, lo que evidencia que continúa la tendencia de contención de la deforestación a nivel nacional. Respecto del 2022, la cifra de deforestación se redujo en todo el país en un 36 %, y para la Amazonía colombiana, en un 38 %” Pg, 7.

Aunque a nivel nacional el año 2023 se consolidó como el de menor pérdida de bosque en los últimos 23 años, tanto en el país como en la Amazonía colombiana desde que el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono está en funcionamiento, los resultados locales muestran una dinámica distinta. Esta reducción nacional ha sido interpretada como un avance importante en el cumplimiento de las metas del Plan Nacional de Desarrollo y en los compromisos internacionales de Colombia frente a la mitigación del cambio climático, en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y los acuerdos con países cooperantes. En 2023, el 61 % de la pérdida de bosque natural del país se concentró en cinco departamentos: Caquetá (12.647 ha), Guaviare (11.467 ha), Putumayo (10.852 ha), Meta (10.310 ha) y Antioquia (8.139 ha), siendo Caquetá el mayor aportante con el 16 % del total. Los departamentos con mayor disminución de deforestación respecto a 2022 fueron Meta (13.800 ha), Caquetá (6.546 ha) y Putumayo (5.628 ha) (IDEAM, 2024, p. 9). Sin embargo, en el sector rural de La Tagua, ubicado en el departamento del Putumayo, los datos satelitales muestran que la cobertura boscosa se redujo en 683,42 hectáreas durante 2023, lo que evidencia que, pese a la mejora general en la región, persisten focos de presión local que requieren atención específica.

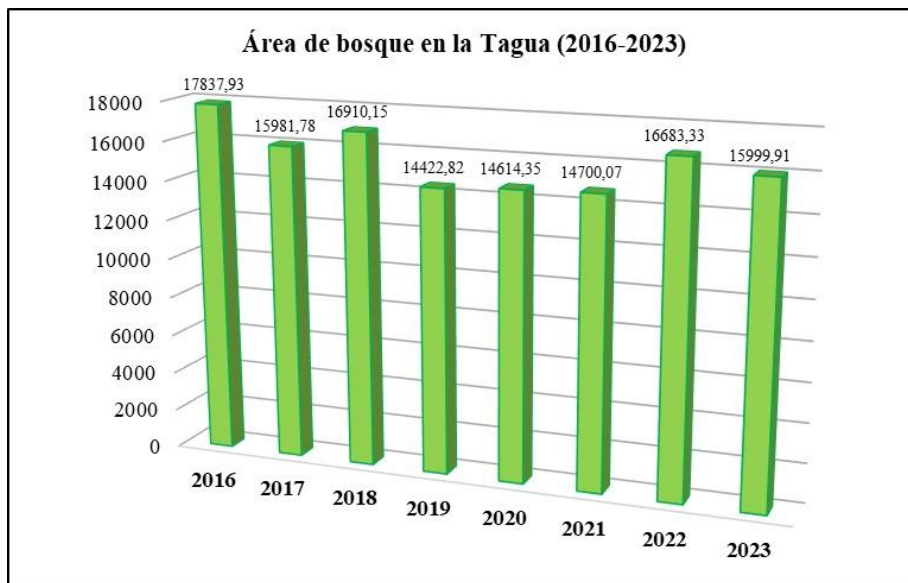
Figura 19*Clasificación supervisada año 2023*

Nota. Fuente. Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia V.2.

A pesar de la reducción general de la deforestación a nivel nacional y regional, el caso del Centro Poblado Rural de La Tagua evidencia que los procesos de pérdida de bosque no se distribuyen de manera homogénea en el territorio, como se observa en la figura 19. En esta zona del sur del Putumayo, factores como el avance de la frontera agropecuaria, la expansión de actividades económicas informales (como la ganadería extensiva y los cultivos de uso ilícito), el limitado control institucional y la ausencia de alternativas sostenibles para las comunidades locales continúan impulsando la transformación del paisaje natural. Además, el aislamiento geográfico, las condiciones socioeconómicas precarias y la presión sobre la tierra por parte de actores externos, agravan la vulnerabilidad del bosque a procesos de intervención.

Figura 20*Área no bosque por año en la Tagua (2016 - 2023)*

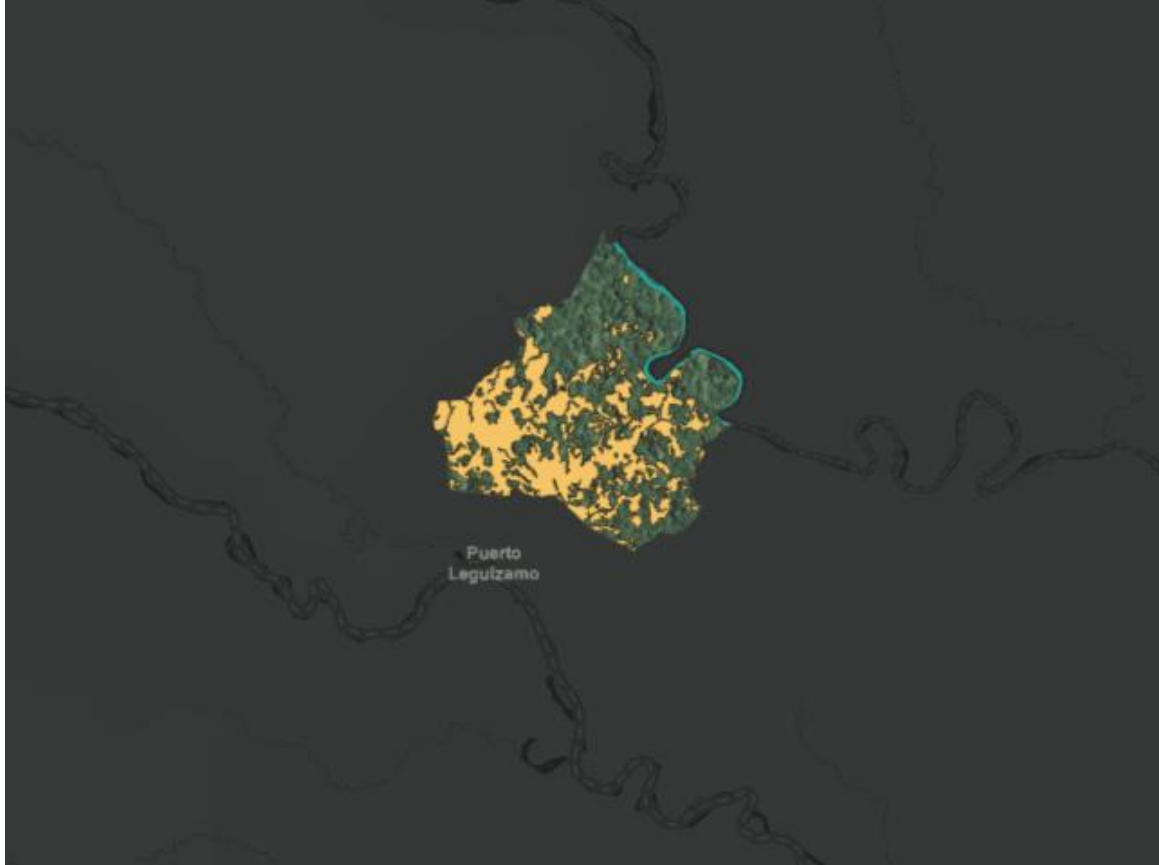
Entre los años 2016 y 2023, el Centro Poblado Rural de La Tagua, en el municipio de Puerto Leguizamo (Putumayo), ha experimentado una dinámica cambiante en su cobertura terrestre, reflejo de los múltiples factores socioambientales que intervienen en el uso del suelo en la Amazonía colombiana, tal como se evidencia en la figura 20. En términos generales, la cobertura boscosa pasó de 17.837,93 hectáreas en 2016 a 15.999,91 hectáreas en 2023, lo que representa una pérdida acumulada de 1.838 hectáreas, equivalente a una reducción del 10,3 %. Esta tendencia decreciente no fue constante, sino que estuvo marcada por oscilaciones significativas: los años 2016 a 2019 registraron una pérdida progresiva del bosque, mientras que el periodo 2020 a 2022 mostró señales de estabilización y recuperación, especialmente en 2022, cuando se observó un aumento abrupto de más de 1.900 hectáreas de bosque respecto al año anterior. No obstante, en 2023 volvió a presentarse una pérdida de 683 hectáreas, indicando que los procesos de regeneración no fueron sostenidos. De forma paralela, la categoría de “no bosque” aumentó de 11.888,26 hectáreas en 2016 a 14.061,26 hectáreas en 2023, lo que refleja un crecimiento de 2.173 hectáreas (+18,3 %), asociado a la expansión de la frontera agropecuaria, asentamientos humanos, cultivos ilícitos o actividades extractivas.

Figura 21*Área de bosque CPR La Tagua (2016 - 2023)*

A pesar de los esfuerzos nacionales e internacionales para reducir la deforestación como lo muestran las cifras reportadas por el IDEAM (2024), que señalan que 2023 fue el año con menor pérdida de bosque a nivel nacional en dos décadas, el caso de La Tagua demuestra que existen focos locales donde persisten dinámicas de presión sobre el bosque. Esta situación puede explicarse por la debilidad institucional en zonas periféricas, la limitada presencia estatal, las condiciones socioeconómicas precarias y la falta de incentivos eficaces para la conservación. En conclusión, el análisis evidencia que, aunque hay momentos de recuperación de bosque, la tendencia general es hacia la pérdida progresiva de cobertura forestal, lo que resalta la necesidad de intervenciones más focalizadas, integrales y sostenibles para frenar la transformación del territorio en La Tagua. En este orden de ideas, se presenta la siguiente animación donde se identifican los cambios a lo largo del tiempo:

Figura 22

Animación cambio de bosque - no bosque la Tagua



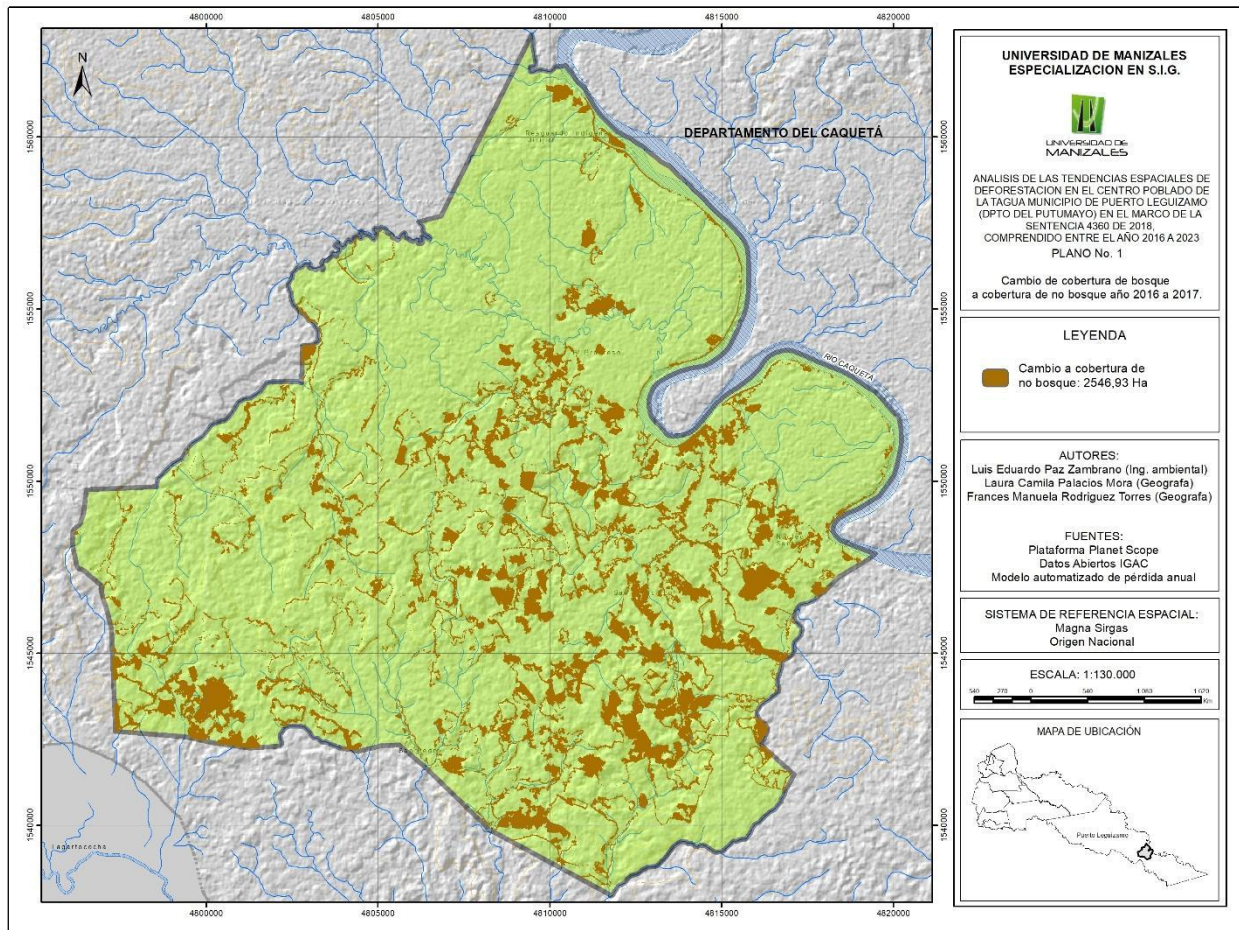
6.2 Determinar las áreas críticas de deforestación mediante el uso de imágenes PlanetScope Scene entre los años 2016 a 2023.

Con el fin de dar cumplimiento al segundo objetivo, se llevó a cabo un análisis espacio-temporal detallado de la dinámica de pérdida de cobertura boscosa en el centro poblado rural de La Tagua. A partir de la clasificación supervisada de imágenes satelitales y su posterior validación, fue posible identificar y caracterizar los focos de deforestación más significativos en cada periodo anual. Los resultados permitieron evidenciar tanto la magnitud como la distribución espacial de los procesos de transformación del bosque. En este sentido, para una mejor visualización de la distribución espacial y la evolución de la deforestación en el área de estudio, se elaboraron mapas temáticos correspondientes a dos periodos de tiempo. A través de esta representación cartográfica,

fue posible identificar no solo las áreas críticas, sino también patrones de concentración, expansión o dispersión de los procesos de deforestación. La secuencia de mapas a continuación evidencia cómo ciertos sectores de La Tagua han sufrido una transformación acelerada, en contraste con otros donde la cobertura boscosa se ha mantenido más estable:

Figura 23

Cambio de cobertura de bosque a no bosque periodo 2016 -2017

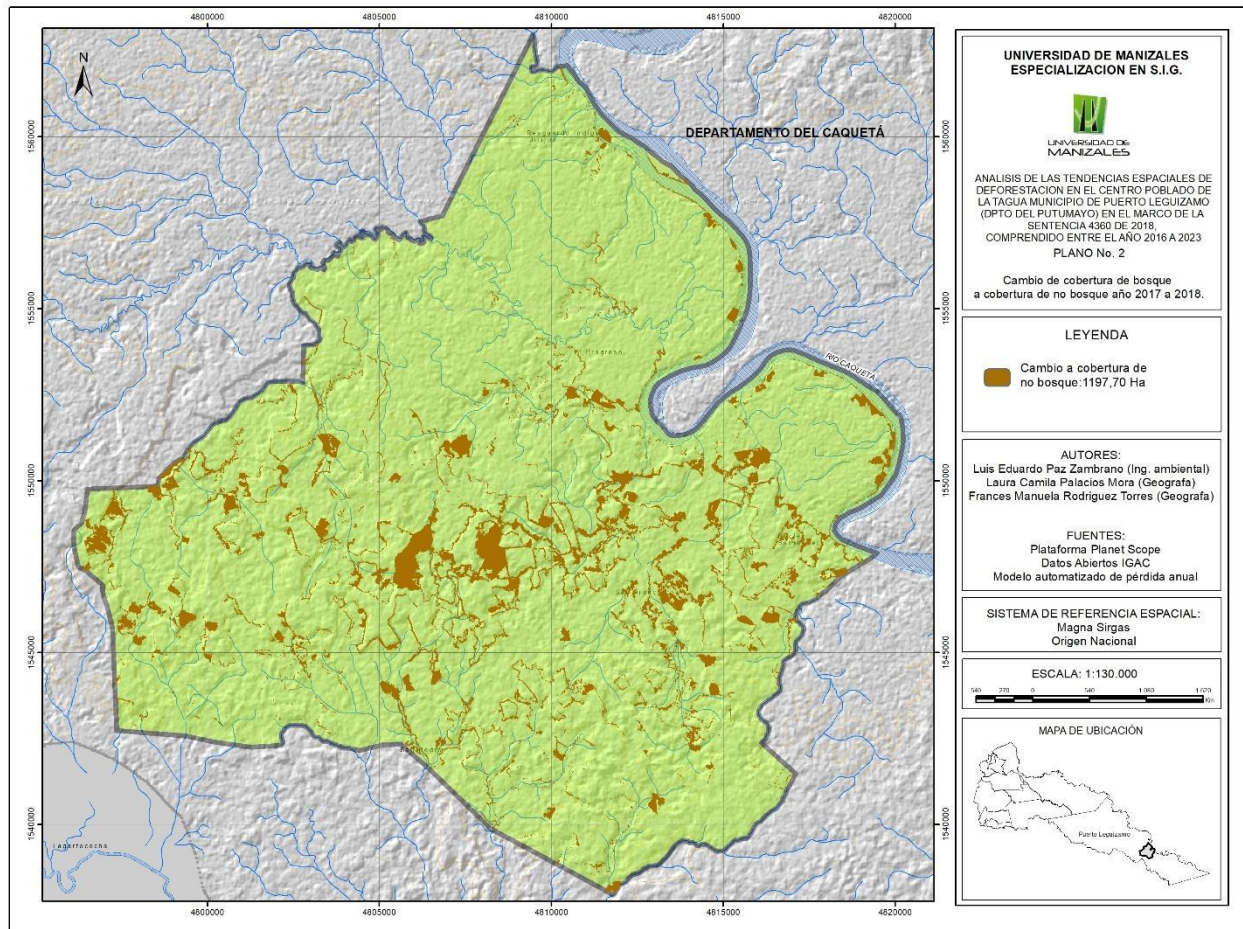


Durante este periodo se registró el año más crítico de deforestación en el área de estudio, con una pérdida estimada de 2.547 hectáreas, lo que representa aproximadamente el 14 % del bosque existente. Este fenómeno se concentró principalmente en grandes claros mecanizados, evidenciando procesos de transformación a gran escala. El 36 % de esta pérdida se concentró en tan solo 67 focos, lo que indica una deforestación altamente focalizada y posiblemente vinculada

a actividades intensivas como cultivos ilícitos o expansión ganadera. Estos resultados permiten señalar este año como un punto de inflexión en la dinámica de cambio de cobertura vegetal.

Figura 24

Cambio de cobertura de bosque a no bosque periodo 2017 - 2018

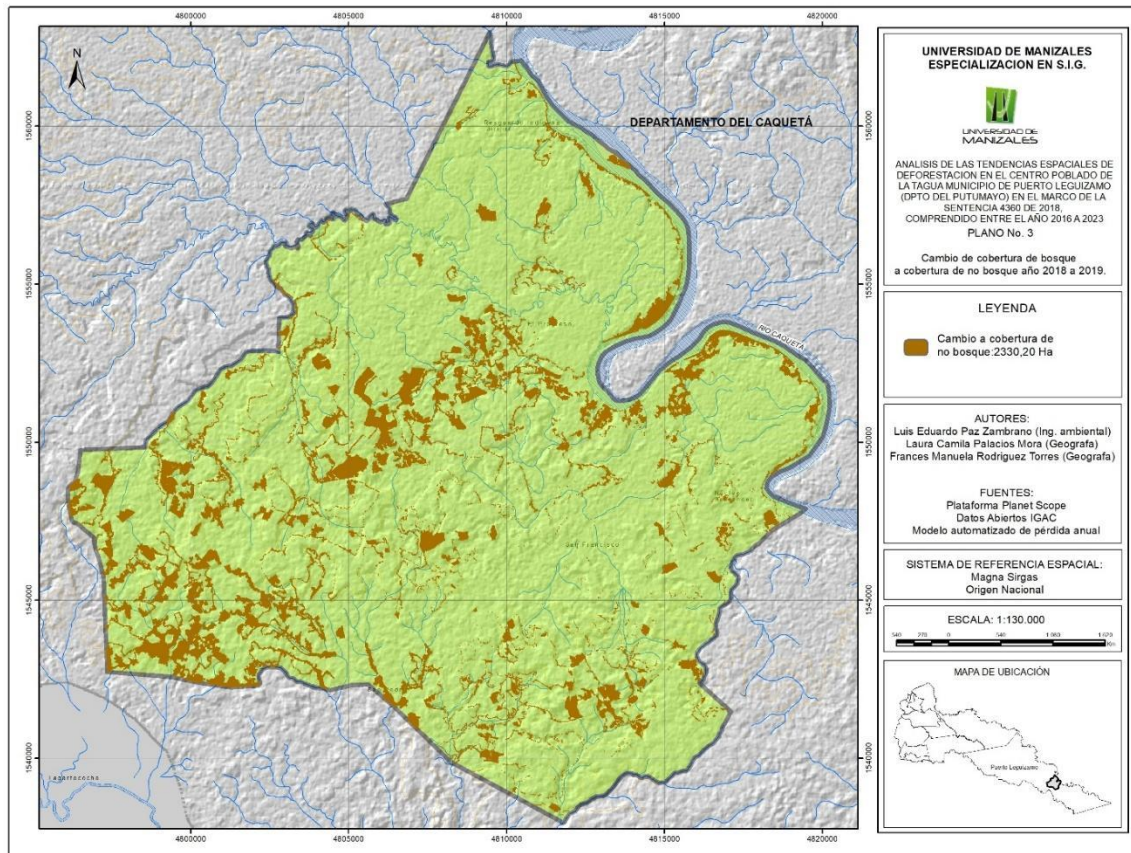


En comparación con el año anterior, este periodo presentó una fuerte reducción en la deforestación, con una caída del 53% en el área afectada. Solo se identificaron 9 focos significativos de pérdida de cobertura boscosa, caracterizados por su menor tamaño y una distribución más dispersa en el territorio. Este patrón sugiere un cambio en la dinámica de intervención, posiblemente asociado a una reducción temporal de las presiones sobre el bosque o a un cambio en las estrategias de uso del suelo. La disminución en la cantidad y el tamaño de los

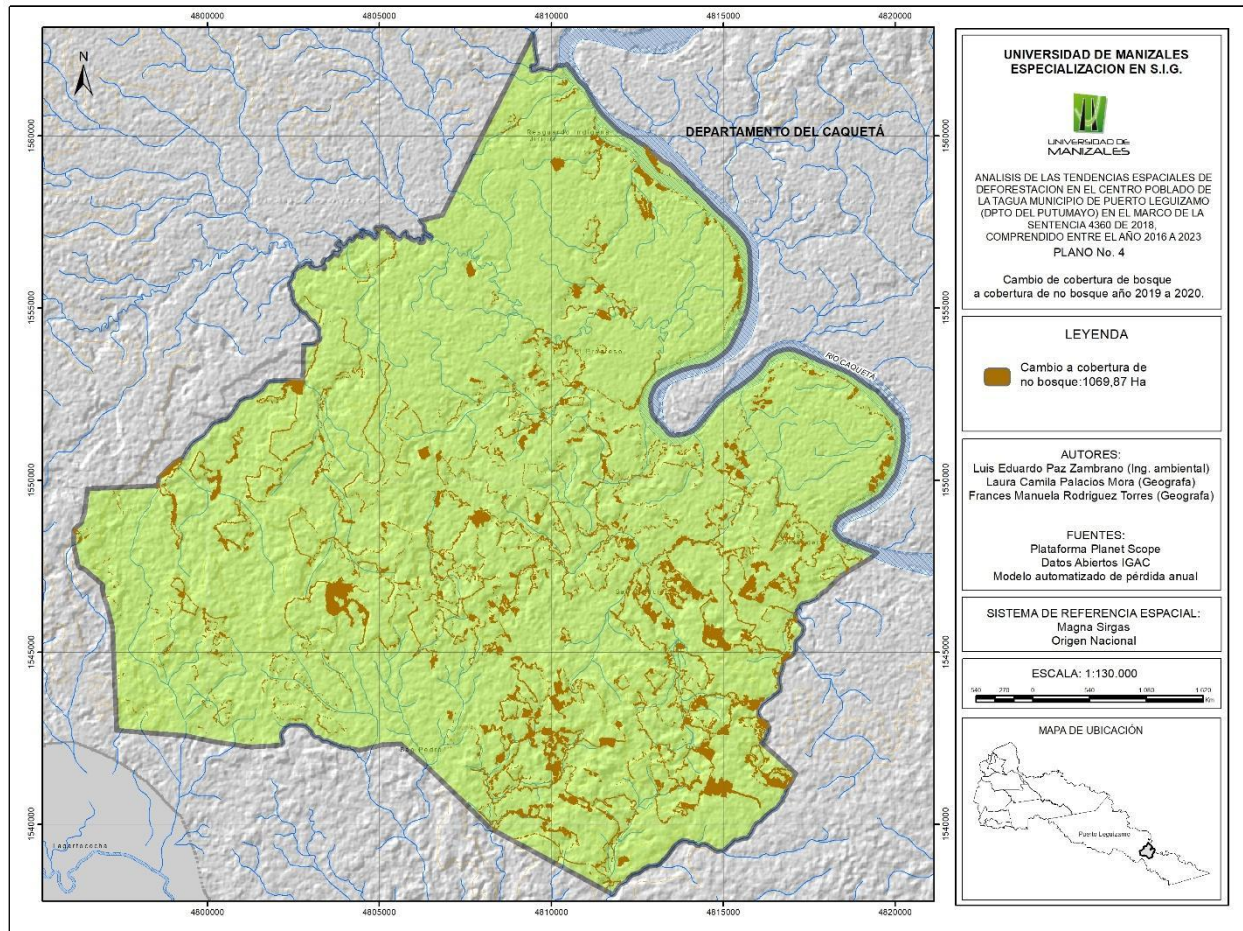
focos de deforestación podría estar asociada a factores como una mayor presencia institucional, variaciones en las condiciones ambientales o cambios en las dinámicas productivas y sociales del territorio.

Figura 25

Cambio de cobertura de bosque a no bosque periodo 2018 - 2019

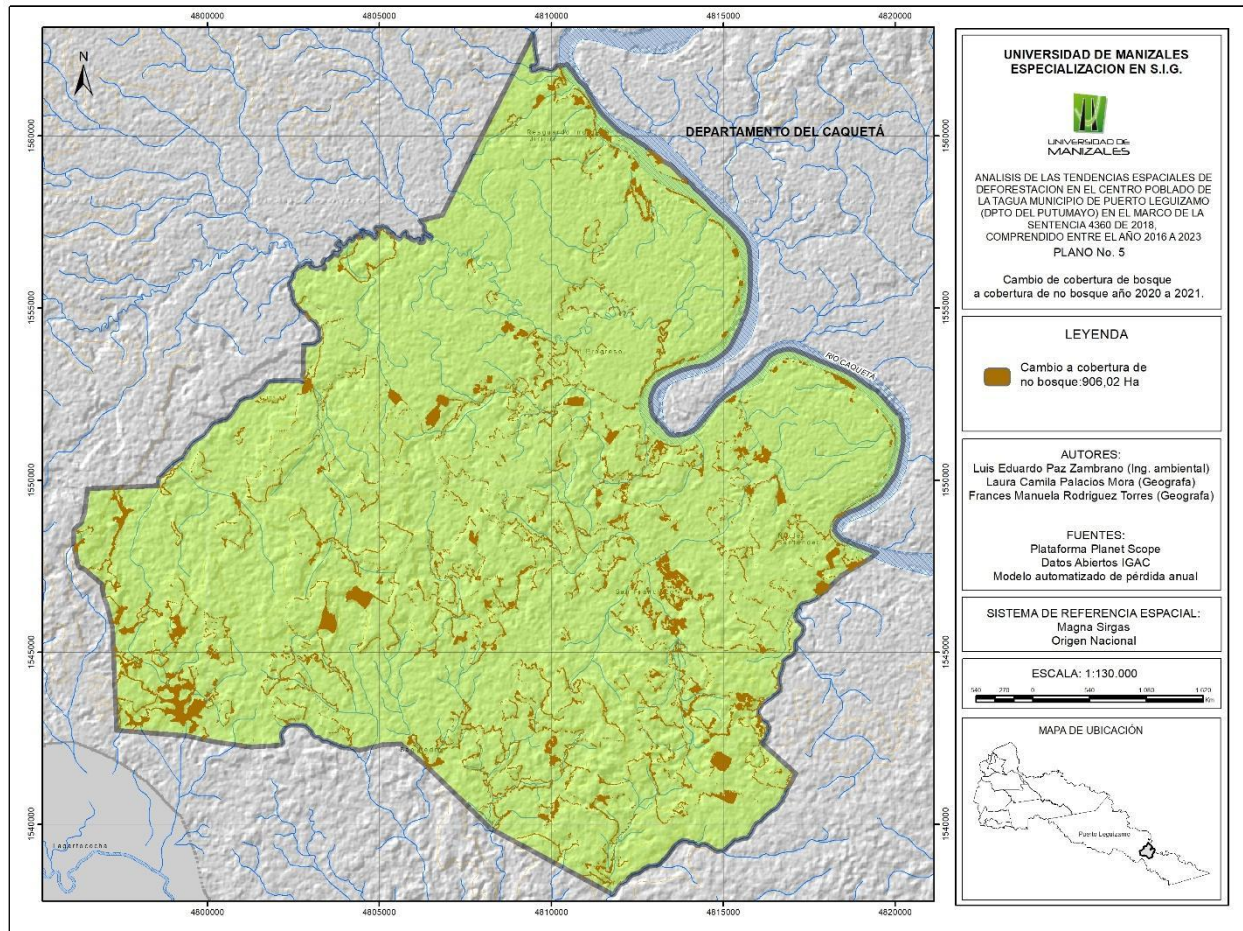


En este periodo se registró un incremento notable en la pérdida de cobertura boscosa, alcanzando un total de aproximadamente 2.330 hectáreas. A diferencia del año anterior, volvieron a aparecer focos de gran extensión, lo que indica una intensificación de las actividades que afectan el bosque. Uno de estos focos concentró 964 hectáreas, equivalente al 41 % del total deforestado en el año, constituyéndose como un área crítica o de alta presión sobre el ecosistema. Este comportamiento sugiere una reactivación de procesos de deforestación a gran escala, posiblemente vinculados al avance de la frontera agrícola, la extracción ilegal de recursos o la expansión de economías no reguladas.

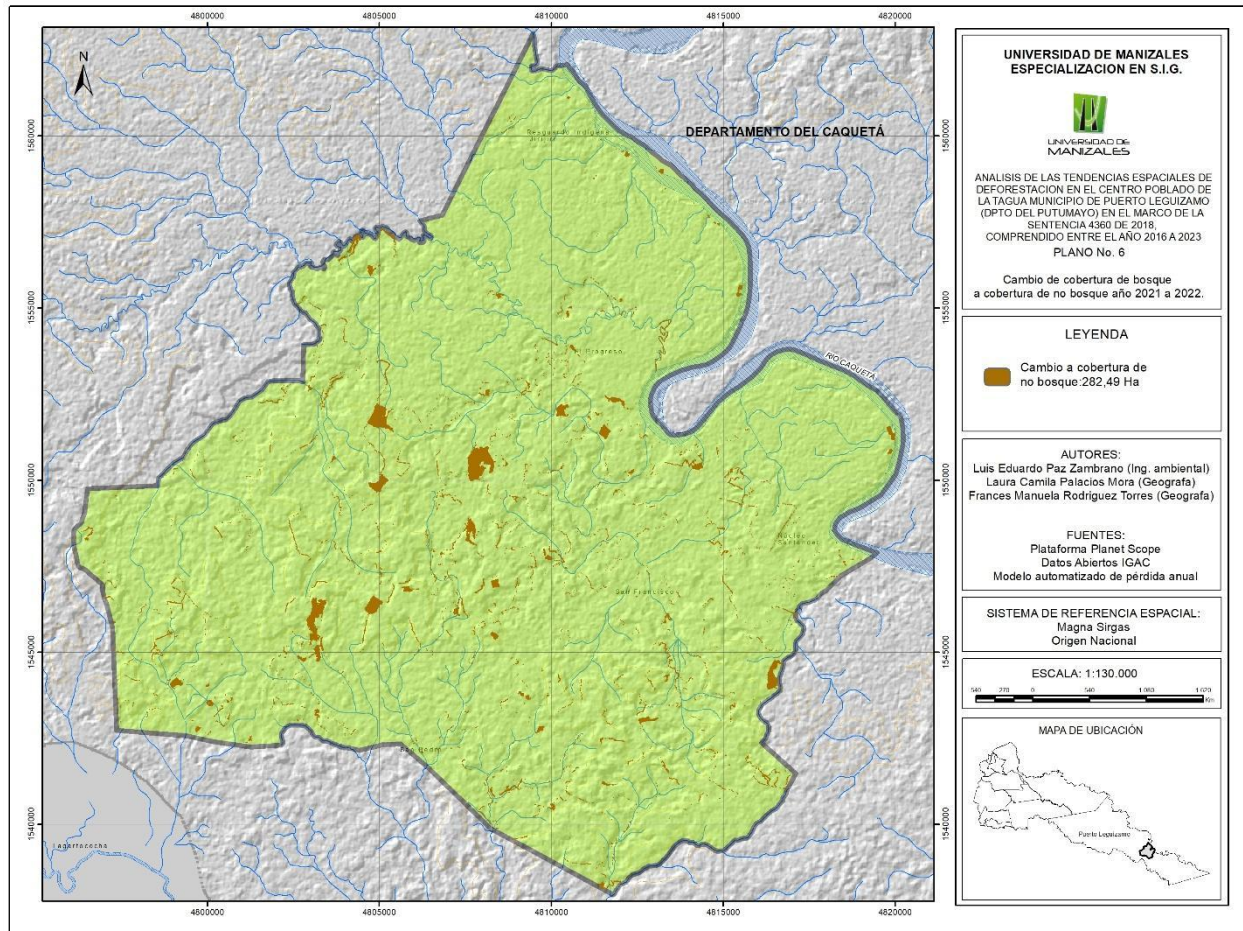
Figura 26*Cambio de cobertura de bosque a no bosque periodo 2019 - 2020*

En este año se observó una disminución en el área total deforestada, reduciéndose a aproximadamente 1.070 hectáreas. Sin embargo, a pesar del descenso en la magnitud de la pérdida, aumentó significativamente el número de parches mayores a 10.000 m², lo que evidencia una transición hacia una deforestación más fragmentada y de menor escala. Esta dinámica indica que, aunque no se concentraron grandes focos como en años anteriores, persistieron múltiples intervenciones dispersas que continúan afectando la cobertura boscosa de manera progresiva. Este patrón podría asociarse a procesos de colonización, expansión de cultivos a pequeña escala o prácticas extractivas localizadas.

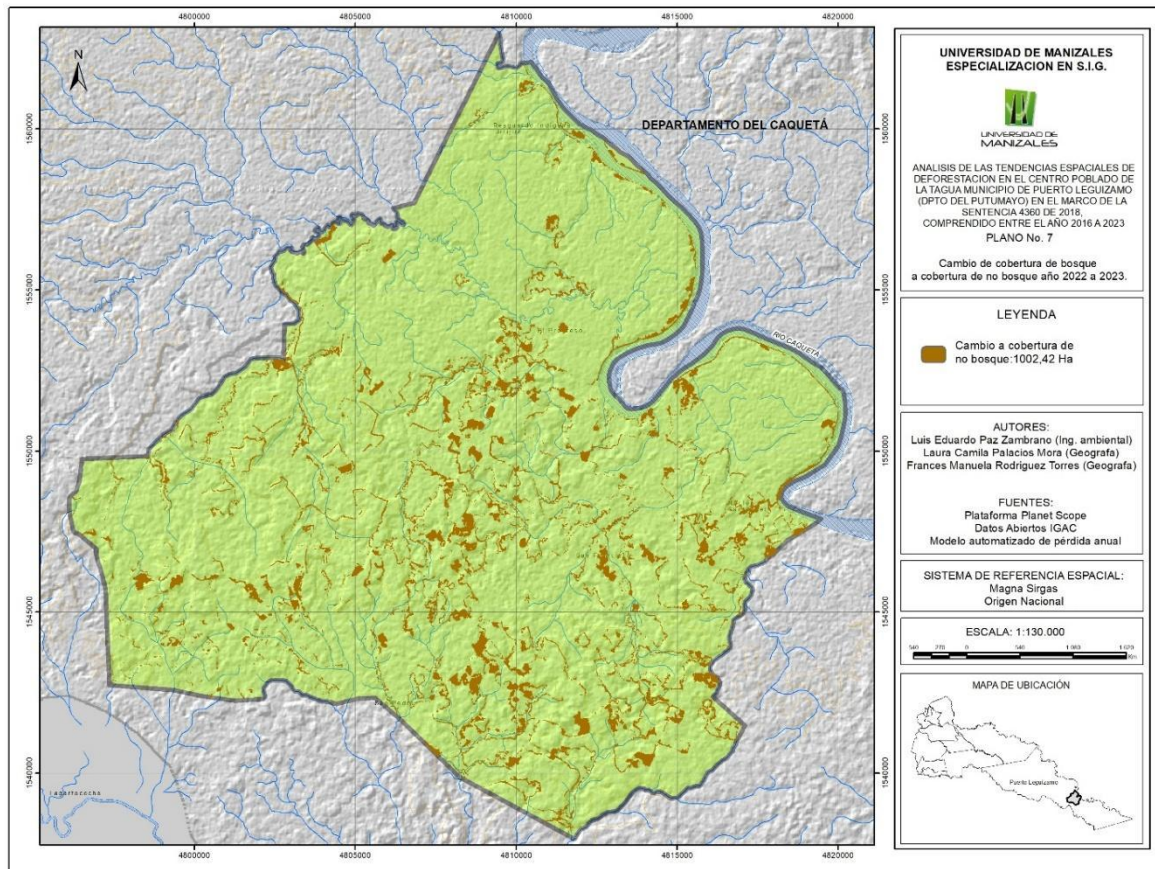
Figura 27
Cambio de cobertura de bosque a no bosque periodo 2020 - 2021



La tendencia de reducción en la deforestación continuó durante este periodo, con una pérdida estimada de 906 hectáreas de cobertura boscosa. No obstante, se evidenció un aumento en el número de focos críticos, registrándose 70 áreas con concentraciones significativas de pérdida. Este comportamiento señala la aparición de múltiples núcleos de deforestación de tamaño mediano, distribuidos en distintas zonas del territorio. Aunque la magnitud total disminuyó en comparación con años previos, la expansión de estos focos indica una presión sostenida y cada vez más diseminada sobre el bosque.

Figura 28*Cambio de cobertura de bosque a no bosque periodo 2021 -2022*

Este año marcó el nivel más bajo de deforestación en todo el periodo analizado, con una pérdida estimada de tan solo 282 hectáreas de bosque. Sin embargo, a pesar de la baja magnitud total, se identificaron focos de pérdida pequeños, pero con alta densidad, lo que sugiere procesos de intervención intensiva en áreas muy localizadas. De hecho, el 42 % de la deforestación registrada se concentró en apenas 119 hectáreas, lo que evidencia la presencia de múltiples hot spots de tamaño reducido, pero con fuerte impacto en sus entornos inmediatos. Este patrón puede estar asociado a prácticas de aprovechamiento intensivo del suelo a escala local o a actividades ilegales dispersas y de difícil detección.

Figura 29*Cambio de cobertura de bosque a no bosque periodo 2022 - 2023*

Durante este año se presentó un nuevo aumento en la pérdida de cobertura boscosa, alcanzando un total de 1.002 hectáreas. Aunque no se registraron grandes focos como en años anteriores, el número de áreas afectadas se elevó a 112, el valor más alto de todo el periodo analizado. Este incremento en la cantidad de focos, acompañado de una disminución en el tamaño máximo de los parches (ninguno superior a 20 hectáreas), sugiere un patrón de deforestación más fragmentado y extendido, característico de una expansión difusa. Este tipo de dinámica puede responder a procesos de ocupación territorial dispersa, ampliación de actividades agrícolas a baja escala o debilitamiento del control ambiental en zonas periféricas.

En contexto, con la descripción anterior, se adjunta la Tabla N° 2 que representa un resumen cuantitativo de la pérdida de cobertura boscosa registrada en el área de estudio durante el periodo comprendido entre 2016 y 2023, con base en el análisis de imágenes satelitales PlanetScope Scene. De esta manera, se incluyen variables claves como la superficie total deforestada por año, su

proporción frente al territorio total, el número de parches generados, el tamaño máximo, promedio y mediano de los parches, así como la cantidad de focos de alta significancia estadística ($G_i^* \geq 2$), el área concentrada en dichos focos y su porcentaje respecto a la pérdida total anual. Esta información permite caracterizar no solo la magnitud de la deforestación, sino también su configuración espacial y su evolución temporal:

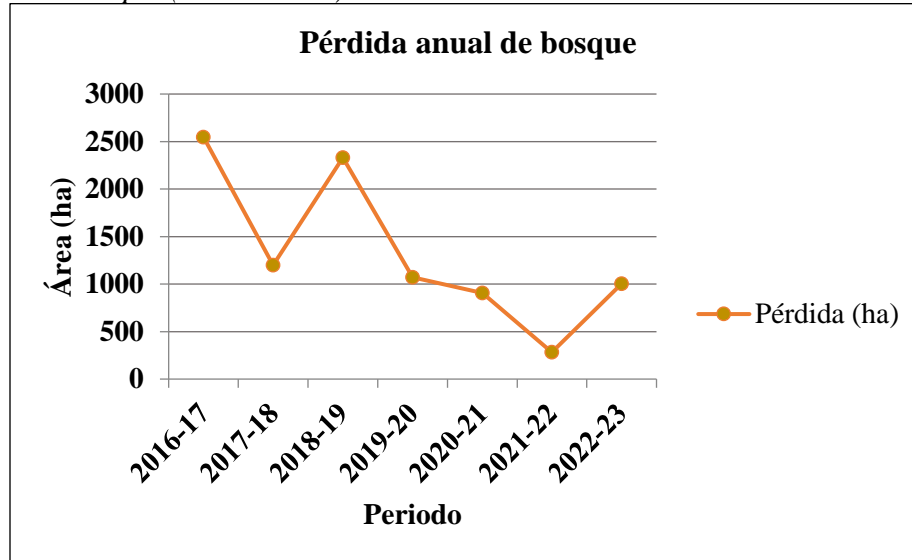
Tabla 2.

Serie de deforestación comprendido entre los años 2016-2013 (Área total de estudio 32,224 Ha).

Periodo (t → t+1)	Pérdida (ha)	% del territorio	Nº parches	Tamaño máx (ha)	Media (ha)	Mediana (ha)	FOCOS $G_i^* \geq 2$	Área en focos (ha)	% de la pérdida en focos
2016–2017	2,546,9	7,9 %	8329	118,67	0,306	0,008	67	922,62	36 %
2017–2018	1,197,7	3,7 %	8745	105,49	0,137	0,004	9	272,63	23 %
2018–2019	2,330,2	7,2 %	8443	158,86	0,276	0,003	33	964,42	41 %
2019–2020	1,069,9	3,3 %	1,0362	61,82	0,103	0,004	52	287,57	27 %
2020–2021	906	2,8 %	1,0902	71,61	0,083	0,004	70	318,17	35 %
2021–2022	282,5	0,9 %	4887	44,43	0,058	0,002	67	119,08	42 %
2022–2023	1,002,4	3,1 %	1,0098	19,75	0,099	0,003	112	251,58	25 %

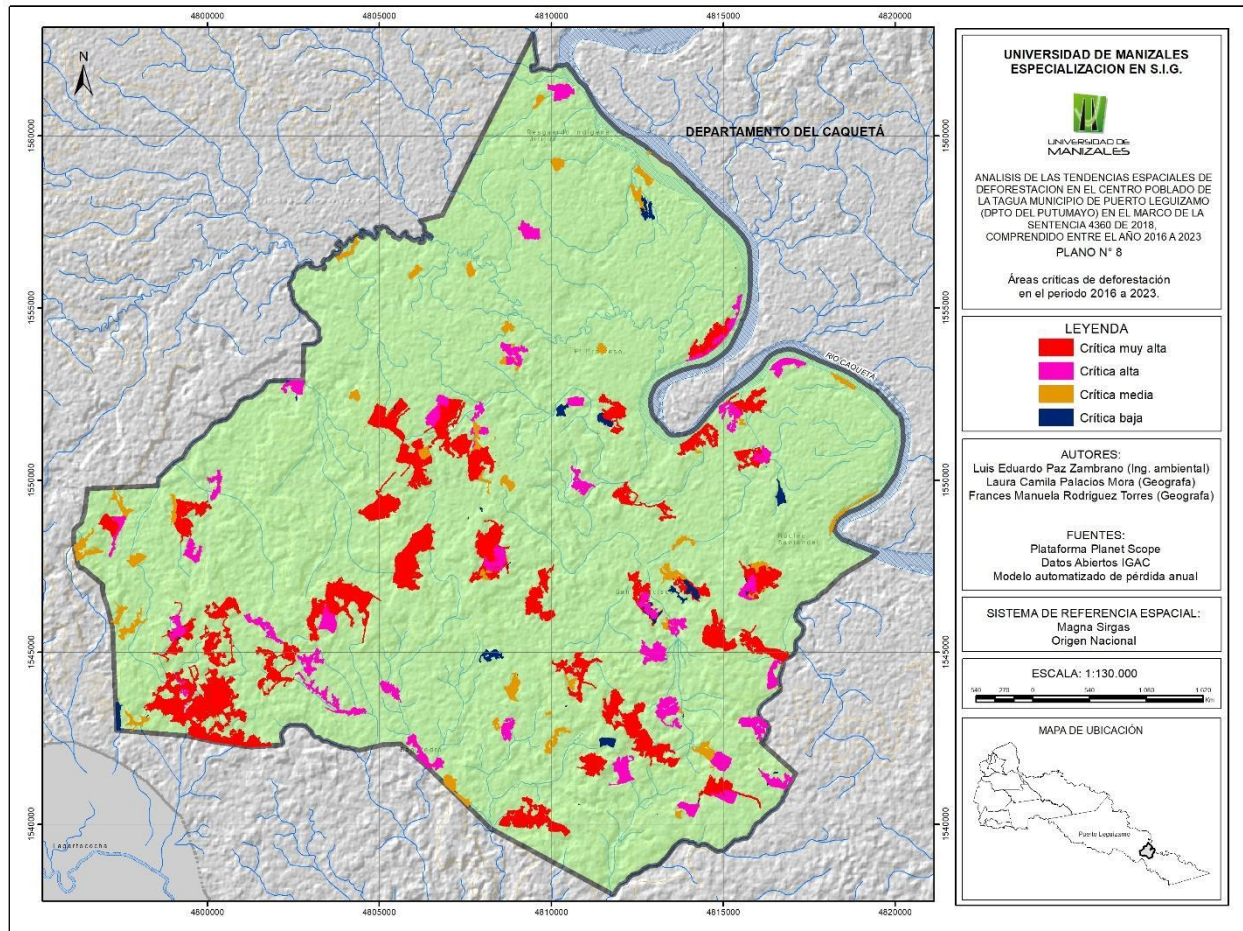
Durante el periodo analizado, el año 2016-2017 sobresale como el más crítico, con una pérdida de 2.546,9 ha (7,9 % del territorio), marcada por grandes claros mecanizados y una alta concentración del fenómeno (36 % de la pérdida en solo 67 focos). En contraste, 2021-2022 representó el punto más bajo del ciclo, con una pérdida mínima de 282,5 ha (0,9 %), aunque con focos densos y muy localizados (42 % de la pérdida concentrada en solo 119 ha).

A lo largo de los años, se evidencia una transformación en los patrones de deforestación. Mientras que al inicio predominaban grandes focos concentrados, en los últimos años la tendencia apunta hacia una mayor fragmentación, con un aumento en el número de parches (más de 10.000 en 2020-2023) y una reducción en el tamaño máximo (20 ha en 2022-2023). El año 2022-2023 es especialmente relevante, ya que, a pesar de una deforestación moderada (1.002,4 ha), se registra el número más alto de focos significativos (112), lo que refleja una expansión difusa del fenómeno, dicho fenómeno se representa en la figura 30 para mayor visualización:

Figura 30*Pérdida anual de bosque (2016 - 2023)*

Ahora bien, con el fin de identificar las zonas con mayor concentración espacial de deforestación, se generó un mapa de puntos calientes mediante el análisis estadístico espacial, aplicado a los parches de pérdida de cobertura boscosa detectados entre 2016 y 2023. Este análisis permitió clasificar las áreas según su nivel de significancia estadística, destacando aquellas donde la deforestación no solo ha sido más intensa, sino también recurrente en el tiempo. El resultado se presenta en el siguiente mapa, donde se diferencian categorías que van desde concentraciones bajas hasta focos altamente significativos, lo que facilita la localización de las áreas críticas que requieren mayor atención en términos de vigilancia, control ambiental y priorización de acciones de conservación:

Figura 31
Áreas críticas de deforestación periodo 2016 - 2023



El análisis espacial permitió delimitar áreas críticas de deforestación (representadas en rojo oscuro), las cuales, aunque abarcan menos del 10 % del territorio municipal, concentran aproximadamente el 40 % de la superficie total deforestada. Las categorías de significancia alta y media coinciden con zonas donde se evidencian procesos activos de expansión agrícola y ganadera de tipo parcelario. Por su parte, las áreas clasificadas con significancia baja funcionan como indicadores tempranos de presión sobre el bosque, sugiriendo la posible formación de nuevos núcleos de pérdida en el corto o mediano plazo.

Para finalizar el análisis correspondiente, es necesario mencionar que en el transcurso del periodo de tiempo comprendido entre los años 2016 y 2023 se deforestaron aproximadamente

8.336 hectáreas, lo que representa el 26 % del bosque existente en 2016. La tendencia temporal revela un comportamiento dinámico: un pico inicial de alta intensidad en 2016-2017, una caída abrupta en 2017-2018, un nuevo incremento en 2018-2019 y una reducción sostenida hasta alcanzar el valor mínimo en 2021-2022, seguido de un repunte en el periodo 2022-2023. Durante este tiempo, el número de focos calientes varió entre un mínimo de 9 (2017-2018) y un máximo histórico de 112 (2022-2023). Los años 2016-2017 y 2018-2019 destacan por concentrar más de 900 hectáreas en áreas críticas, asociadas a frentes de deforestación mecanizada. Paralelamente, el descenso progresivo en la mediana del tamaño de los parches indica un cambio en el patrón espacial: de grandes claros hacia una creciente fragmentación en microparcels dispersas. Las áreas críticas de categoría muy alta representan menos del 10 % del territorio municipal, pero concentran cerca del 40 % de la deforestación total. Estas zonas se ubican principalmente a lo largo de vías fluviales y regiones en expansión ganadera. En función de estos hallazgos, se recomienda priorizar acciones de vigilancia y restauración ecológica en estas áreas, complementadas con monitoreo satelital trimestral sobre los focos de crítica alta y el establecimiento de sistemas de alerta temprana en zonas clasificadas como de crítica media y baja.

6.3 Evaluar el impacto de la sentencia 4360 de 2018 sobre la dinámica de la deforestación en el área de estudio.

Con el propósito de evaluar el impacto territorial de la Sentencia 4360 de 2018 mediante la cual la Corte Suprema de Justicia reconoció a la Amazonía como sujeto de derechos, se realizó un análisis comparativo de la dinámica de deforestación en La Tagua antes y después de su expedición. Esta evaluación parte del año 2018 como punto de quiebre normativo, lo que permite observar si dicha decisión judicial generó cambios sustanciales en la intensidad, extensión y configuración espacial de la pérdida de bosque. Para ello, se utilizaron indicadores clave como el área deforestada por año, el número de focos significativos (hotspots), y la fragmentación del paisaje forestal. El análisis busca establecer si la sentencia logró incidir de manera efectiva en el control del fenómeno o si, por el contrario, la deforestación persistió con nuevas formas y patrones. A continuación, en la Tabla N° 3 se presentan los resultados comparativos que evidencian las tendencias antes y después de 2018.

Tabla 3.*Cambios en los indicadores de deforestación antes y después de la Sentencia 4360 (2016–2023)*

Indicador	Antes Sentencia (2016– 2019)	Después Sentencia (2019– 2023)
Pérdida promedio (ha)	2025	815,2
Focos $G_i \geq 2$ (promedio)	36,3	75,25
Mediana tamaño de parche (ha)	0,005	0,00325

Los resultados permiten identificar una disminución significativa en la cantidad de bosque deforestado por año, pasando de un promedio de 2.025 ha antes del fallo a 815 ha en los años posteriores, lo que representa una reducción del 60 %. Este descenso sugiere que la sentencia pudo tener un efecto disuasivo inicial sobre las grandes dinámicas de transformación del bosque.

Sin embargo, otros indicadores revelan transformaciones más complejas: el número promedio de focos calientes ($G_i \geq 2$)* aumentó más del doble, lo que implica una mayor fragmentación del proceso y una dispersión territorial de la deforestación. Paralelamente, el tamaño mediano de los parches deforestados disminuyó, lo cual es señal de un cambio en el patrón espacial: de grandes claros mecanizados hacia microparcels dispersas, típicas de la expansión informal de la frontera agropecuaria y la ocupación parcelaria irregular

Estos hallazgos sugieren que, aunque la Sentencia 4360 fue un hito jurídico importante, su implementación práctica en el territorio no logró revertir de forma estructural la dinámica de deforestación. El cambio de patrones refleja una mutación de las estrategias de ocupación, no necesariamente su contención. La deforestación ha continuado, aunque bajo formas más fragmentadas, que son más difíciles de detectar, sancionar y controlar.

Por tanto, se concluye que la sentencia, si bien contribuyó a una disminución en la magnitud total de pérdida de bosque, no detuvo el avance del fenómeno, y se ha quedado mayormente en el plano declarativo. Es urgente fortalecer su implementación con acciones concretas de monitoreo satelital frecuente, control territorial efectivo, y articulación con actores locales para que los derechos declarados se materialicen en resultados ambientales tangibles.

7 Discusión

Los resultados del análisis de tendencias temporales de la deforestación en el centro poblado de La Tagua, entre 2016 y 2023, muestran que la pérdida de cobertura boscosa continuó, mostrando una tendencia sostenida, incluso después de la expedición del STC 4360 de 2018. Esta sostenibilidad a nivel territorial revela una brecha entre los mandatos jurídicos y su impacto real en el territorio, lo que coincide con la evaluación como lo afirma Morales (2020) “Las consecuencias de la crisis ecológica que se vive a escala global, no son producto de las elecciones y actividades que llevan a cabo las personas comunes, sino más bien de una minoría rica de los habitantes del planeta. El problema del cambio climático no proviene de una referencia abstracta al ser humano, sino de decisiones que determinan el modelo económico de consumo de la colectividad” pg,91.

En este orden de ideas, declarar a la Amazonía como sujeto de derechos implica más que un acto simbólico. Esta decisión, tomada por la Corte Suprema en la Sentencia STC 4360 de 2018, deja abiertos aspectos fundamentales que debieron ser abordados con mayor claridad. En primer lugar, resulta problemático que el fallo no especifique con precisión a qué tipo de derechos se refiere al reconocer a la Amazonía como sujeto. Esta omisión genera ambigüedad en cuanto al alcance y naturaleza jurídica de los derechos otorgados al ecosistema, dificultando su exigibilidad y protección efectiva. Como segundo punto, es necesario cuestionar en qué medida la categoría de "sujeto de derechos" ofrece mecanismos de protección más eficaces que los ya existentes, como las áreas protegidas o los regímenes especiales de conservación. La declaración de la Amazonía como sujeto no puede limitarse a una formulación declarativa, debe ir acompañada de una argumentación sólida que justifique por qué esta categoría amplía y fortalece las herramientas jurídicas para su defensa, más allá de las que ya contempla el ordenamiento ambiental colombiano.

Es pertinente mencionar que, el reconocimiento de derechos a la Amazonía no niega que ya existan marcos normativos que la protejan como patrimonio natural de la Nación. Sin embargo, el verdadero reto argumentativo consiste en identificar y aplicar categorías jurídicas que respondan al contexto ecológico, social y territorial de esta región, y que permitan una defensa más integral y eficaz de sus valores ecosistémicos.

En este contexto, estudios como el presente adquieren una importancia estratégica, ya que permiten evaluar empíricamente mediante herramientas de análisis geoespacial y teledetección si

los principios establecidos en la Sentencia 4360 de 2018 han tenido un impacto real sobre la dinámica territorial de la deforestación. Al analizar un caso específico como el del centro poblado de La Tagua, en el municipio de Puerto Leguizamo, esta investigación no solo aporta evidencia técnica sobre la evolución de la cobertura boscosa entre 2016 y 2023, sino que también proporciona una lectura crítica del alcance efectivo de las medidas judiciales en zonas de alta conflictividad socioambiental. En consecuencia, esta investigación aporta evidencia técnica que respalda la toma de decisiones para la gestión ambiental y la ordenación sostenible del territorio amazónico.

8 Conclusiones

* Durante el periodo analizado (2016–2023), el centro poblado de La Tagua evidenció una pérdida acumulada de 8.336 hectáreas de bosque, lo cual equivale al 26 % del territorio original con cobertura boscosa. Esta cifra refleja una transformación sustancial del paisaje y una presión constante sobre los ecosistemas amazónicos locales, en una región caracterizada por su alta sensibilidad ecológica y su valor estratégico en términos de servicios ecosistémicos.

*El análisis de tendencias temporales permitió identificar que el año 2016-2017 fue el más crítico del periodo de estudio, registrando una pérdida de 2.546,9 hectáreas, equivalente al 7,9 % del área total. Esta etapa se caracterizó por la presencia de grandes claros mecanizados y una alta concentración del fenómeno: el 36 % de la deforestación se localizó en tan solo 67 focos. Esta situación refleja una dinámica inicial altamente agresiva en términos de magnitud y concentración espacial de la pérdida de bosque.

*El periodo establecido para la investigación identifico que el patrón de deforestación presentó una evolución importante hacia formas más dispersas y fragmentadas. A partir del año 2018 se evidenció un cambio de tendencia, con una disminución en la extensión total deforestada pero un aumento sostenido en el número de focos y la fragmentación del paisaje. Esta transición se hizo más evidente en los periodos 2021-2022 y 2022-2023, donde, aunque la pérdida de bosque fue comparativamente menor, se registró el mayor número de focos activos (112 en 2022-2023) y una clara expansión del fenómeno en parches pequeños.

*El patrón de fragmentación progresiva es un hallazgo clave del estudio, ya que refleja una transformación en las prácticas de ocupación del suelo, con una intensificación de actividades antrópicas en múltiples puntos dispersos. Esta situación agrava el deterioro ecológico, al reducir la conectividad del bosque y aumentar la vulnerabilidad de los ecosistemas remanentes. Entre 2020 y 2023 se reportaron más de 10.000 parches pequeños de deforestación, lo que indica una presión difusa y persistente sobre el territorio.

*La identificación de áreas críticas de deforestación, si bien representan menos del 10 % del total del territorio estudiado, concentran aproximadamente el 40 % de la pérdida de cobertura boscosa registrada durante el periodo. Estas zonas, ubicadas principalmente en áreas de expansión agrícola y ganadera, constituyen focos prioritarios para la implementación de acciones de restauración ecológica, control territorial y vigilancia ambiental.

*El impacto de la Sentencia 4360 de 2018, en el análisis de indicadores sugiere un efecto inicial positivo. En los años posteriores a la expedición del fallo, el promedio anual de área deforestada disminuyó en un 60 %, pasando de 2.025 hectáreas/año (2016–2018) a 815 hectáreas/año (2019–2023). Sin embargo, esta reducción no se tradujo en una contención definitiva del fenómeno. Por el contrario, la proliferación de focos más pequeños y la persistencia de la deforestación en nuevos sectores indican que la presión territorial continúa, aunque bajo formas más difíciles de controlar.

*Los periodos comprendidos entre los años 2018 y 2022 presentaron señales parciales de recuperación del bosque, lo que evidencia la existencia de condiciones locales favorables para la regeneración natural. No obstante, estas dinámicas no han sido sostenidas ni significativas frente al avance continuo del cambio de uso del suelo.

*En el presente estudio, el uso de SIG permitió no solo la integración y procesamiento de imágenes satelitales multitemporales, sino también la generación de productos cartográficos precisos que evidencian los cambios en la cobertura boscosa del centro poblado de La Tagua entre 2016 y 2023. A través de modelos paramétricos, clasificación supervisada y análisis espacial, se logró identificar tendencias, focalizar áreas críticas y evaluar de manera técnica la efectividad de instrumentos jurídicos como la Sentencia 4360 de 2018.

9 Recomendaciones

De acuerdo a las estadísticas y cartografía resultante es inminente mencionar que es indispensable fortalecer la presencia institucional y el control territorial de las autoridades ambientales, locales y nacionales, por medio de programas integrales de conservación, educación ambiental y desarrollo sostenible que involucren activamente a la comunidad.

Es imprescindible la implementación de sistemas de monitoreo geoespacial continuo, por medio de plataformas de monitoreo con datos satelitales de alta resolución como PlanetScope o Sentinel, con el objetivo de vigilar en tiempo real la evolución de la cobertura boscosa, identificar nuevos focos de deforestación y generar alertas tempranas que orienten decisiones preventivas.

La articulación de la Sentencia 4360 de 2018 con los instrumentos de ordenamiento territorial son indispensables para establecer metas reales y alcanzables entorno a la deforestación cero y la protección de ecosistemas amazónicos, los cuales se reflejen en la planificación y asignación de recursos a nivel local.

La experiencia con la Sentencia 4360 muestra que la expedición de normativas no garantiza su cumplimiento si no se realiza un seguimiento sistemático. Se recomienda diseñar indicadores territoriales de cumplimiento y elaborar informes de avance anuales sobre la implementación de los planes de acción de deforestación cero.

Referencias

- Amaya, A., & Gutiérrez, A. (2023). Amazonas bajo amenaza: implementación de un sistema de información geográfica para la visualización y análisis de las presiones y amenazas en la Amazonía colombiana basado en un modelo multicriterio. Bogotá, Distrito Capital, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Arrieta, E. (2015). Trabajo de Grado. Estimación de la deforestación en el departamento del Chocó utilizando el mapa de cobertura forestal/no forestal de la Agencia Espacial JAXA . Bogotá, Distrito Capital, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
- Arroyave, J., Espitia, C., Murcia, L., Sierra, L., Valencia, C., & Velandia, B. V. (2021). El reconocimiento de la selva amazónica como sujeto de derechos y su impacto en la deforestación en el departamento del Caquetá en el periodo 2018-2021. *Semilleros de Investigación*, 83-123.
- Asúnsolo, C. (2020). La protección del medio ambiente como un derecho humano: análisis argumentativo de la sentencia 4360-2018 de la corte suprema de justicia de Colombia. *IBERO*, 85-95.g
- Ávila, A. 2017. Una tragedia ambiental en Colombia. En: El País, 6, febrero, 2017. Disponible en: <https://tinyurl.com/z3vu2kud>
- Benítez, K. (06 de abril de 2017). Hay más de 1.400 hectáreas afectadas en capital de Putumayo. (2017). *La República*. Recuperado de <https://tinyurl.com/299e6cw9>
- Calvano, F. R., & Fontalvo, H. M. R. (2014). El uso del suelo, ¿ Un problema de capacidad productiva y de políticas públicas?. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 5(2), 213-231.
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). Introduction to remote sensing (5th ed.). The Guilford Press.
- Clavijo, M., Rodríguez, J., & Polania, J. (2016). Trabajo de Especialización. Detección directa de cambios de las coberturas boscosas en la cuenca baja del río Cravo sur, periodos 1990-2000-2016. Manizales, Colombia: Universidad de Manizales.
- Constitución Política de Colombia de 1991. [Cons]. Art. 8. 79. 63 de 1991 (Colombia).
- Corte Suprema de Justicia. (2025). Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA. Obtenido de Sentencia STC4360-2018 de la Corte Suprema de Justicia – la Amazonía colombiana como entidad sujeta de derechos: <https://tinyurl.com/2r9kbnmp>
- Cuellar, L. (2024). Trabajo de grado. Análisis multitemporal de la expansión de la frontera agrícola en el Parque Natural Municipal la Correntosa y su área de influencia. Manizales, Caldas, Colombia: Universidad de Manizales.

- Dejusticia. (24 De Julio De 2024). Sentencia STC-4360 de 2018: Deforestación, conflicto armado y debilitamiento del Estado en la Amazonía. Dejusticia. Recuperado de <https://tinyurl.com/y95c833s>
- Documento CONPES 4021 Consejo Nacional De Política Económica Y Social República De Colombia Departamento Nacional De Planeación (21 de diciembre de 2020). Política Nacional Para El Control De La Deforestación Y La Gestión Sostenible De Los Bosques. Recuperado de: <https://tinyurl.com/mefxm9kz>
- Eraso, O. (2023). Tesis Doctoral. Dinámicas y causas de la deforestación en la región amazónica de Colombia. El caso de estudio de Puerto Guzmán, Putumayo (2010-2020). Barcelona, España.
- Espejo, O. (Junio de 2016). Trabajo de grado. Desarrollo de una metodología para estimación de la deforestación mediante el análisis multitemporal de imágenes multiespectrales en un entorno de análisis basado en objetos geográficos (GEOBIA). Bogotá, Distrito Capital, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Espinosa, C. (2022). Estimación de la superficie deforestada en el Parque Natural Nacional la Paya mediante el uso de Sensores Remotos para el periodo 2018-2022. Cali, Valle del Cauca, Colombia: Universidad Santiago de Cali.
- ESRI. (15 de septiembre de 2024). Que son los SIG. Obtenido de ESRI: <https://www.esri.com/es-es/what-is-gis/overview>
- FAO. (2016). Estado de los Bosques del Mundo 2016. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- FAO. (2020). Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recupérate de <https://www.fao.org>
- Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2000). Quantitative geography: perspectives on spatial data analysis. Sage.
- Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (FCDS). (2021). Análisis de la deforestación en la Amazonía colombiana. Recuperado de <https://fcds.org.co>.
- Fundación Paz & Reconciliación. 2018a. ¿Cómo va la paz? Bogotá, Colombia. Pares-Fundación Paz & Reconciliación - La Iniciativa, Unión por la Paz. 202 p. Disponible en: <https://tinyurl.com/3up6k4wc>
- Galindo G., Espejo O. J., Rubiano J. C., Vergara L. K., Cabrera E. (2014). Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. V 2.0. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., Colombia.

- General, A. (2013). Resolución aprobada por la Asamblea General el 19 de septiembre de 2016. Recuperado de: <https://tinyurl.com/2ayy9c8n>
- Global Forest Watch. (2023). Puerto Leguizamo, Putumayo, Colombia: Deforestation Rates. Recuperado de <https://www.globalforestwatch.org>.
- González J, A Cubillos, M Chadid, A Cubillos, M Arias, E Zúñiga, F Joubert, I Pérez, V Berrío. 2018. Caracterización de las principales causas y agentes de deforestación a nivel nacional período 2005-2015. Bogotá, Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Programa ONU-REDD Colombia. 229 p. Disponible en: <https://tinyurl.com/yauxbch8>
- Goodchild, M. F. (2009). What problem? Spatial autocorrelation and geographic information science. *Geographical analysis*, 41(4), 411-417.
- Guerra Gabalo, K. D. (2023). Análisis de la deforestación en el departamento de Caquetá – Colombia [Artículo de investigación, Universidad Militar Nueva Granada].
- Hurtado, J., & Lizarazo, I. (2022). Nuevo índice espectro-temporal para la detección de pérdida forestal en áreas de bosque tropical. Caso de estudio Amazonia colombiana. *Revista Cartográfica 104*, 11-35.
- Hurtado, L. (2016). Cuantificación de la deforestación de coberturas boscosas a partir del análisis de vegetación fotosintética y modelos automcu. Caso de estudio Orinoquía de Colombia. *Revista de Topografía Azimut*, 15-21.
- IDEAM, & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2020). *NREF Colombia 2019–2020: Informe sobre deforestación en Colombia*. Portal REDD+ UNFCCC. <https://redd.unfccc.int>
- IDEAM. (2021). Presentación de resultados de monitoreo de deforestación 2020: Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono [Presentación en PDF]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). <https://tinyurl.com/4tuak4j2>
- IDEAM. (2021). Primer informe semestral sobre alertas tempranas de deforestación en Colombia 2021. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de <https://www.ideam.gov.co>.
- IDEAM. (2021). Primer informe semestral sobre alertas tempranas de deforestación en Colombia 2021. Bogotá, Colombia: IDEAM. Recuperado de <https://www.ideam.gov.co>.
- Infobae. (2021). Puerto Leguizamo, el segundo municipio más afectado por la deforestación en Putumayo. Recuperado de <https://tinyurl.com/y9f2d6zr>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2021). Impactos de la deforestación en comunidades locales y ecosistemas: Caso Puerto Leguizamo, Putumayo. Bogotá, Colombia: IDEAM. Recuperado de <https://www.ideam.gov.co>

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2018). Resultados monitoreo de bosque y deforestación – 2017 [Informe en PDF]. IDEAM. <https://tinyurl.com/h86k2pnk>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2019). Resultados Monitoreo de Bosque y Deforestación – 2018 [Boletín anual]. IDEAM. <https://tinyurl.com/2f52jy7v>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). Cifras de monitoreo de la superficie de bosque y la deforestación – 2021 [Informe]. IDEAM. <https://tinyurl.com/3d94wj3f>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2023). Cifras de monitoreo de la superficie de bosque y la deforestación 2022 [Informe]. IDEAM. <https://tinyurl.com/44nh8x9d>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2024). Monitoreo de la superficie de bosque y la deforestación en Colombia – 2023 (Resumen de resultados) [Informe]. IDEAM. <https://tinyurl.com/bd7x64dv>
- Kumar, L., Mutanga, O., Dronova, I., & Jay, S. (2020). High-resolution satellite imagery and its applications in environmental monitoring: A review of PlanetScope and similar platforms. *Remote Sensing*, 12(22), 1–22. <https://doi.org/10.3390/rs12223750>
- Lambin, E. F., & Geist, H. J. (2006). Land-use and land-cover change: local processes and global impacts. Springer Science & Business Media.
- Ley 99 de 1993. Ley Orgánica de la Defensa del Medio Ambiente. 22 de diciembre de 1993. Recuperado de: <https://tinyurl.com/5anbpcd5>
- Libreros, D. (2020). Trabajo de grado. Análisis de las Dinámicas de la Deforestación en la Última Década de los Bosques de la Amazonia Colombiana. Florencia, Caquetá, Colombia: Universidad Abierta y a distancia.
- López, W. (2018). Tasas de crecimiento en los bosques tropicales de Colombia : nuevo enfoque de modelación. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64108>
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). Geographic Information Systems and Science (4th ed.). Wiley.
- Luna, V. (2023). APLICACIÓN DE LOS SIG EN EL ANÁLISIS DE RIESGOS DE DESASTRES. Tesis de Especialización. Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Martínez, Y., & Zambrano, I. (2016). Trabajo de grado. Generación de un sistema de información geográfico que facilite el seguimiento a los salvoconductos forestales nacionales. Manizales, Caldas, Colombia: Universidad de Manizales.

- Mateus, Y. (Noviembre de 2019). Trabajo de grado. La deforestación en Colombia - propuestas para la mitigación de sus efectos. Bogotá, Distrito Capital, Colombia: Universidad Nueva Granada.
- Mather, P. M., & Koch, M. (2011a). Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An introduction. En Wiley-Blackwell (4a ed.). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470666517>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – IDEAM. (2020). Resultados de Monitoreo de la Deforestación – 2019 [Boletín]. Visión Amazonía. <https://tinyurl.com/fnrus2dk>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - IDEAM. 2014. Propuesta de nivel de referencia de las emisiones forestales por deforestación en el Bioma Amazónico de Colombia para pago por resultados de REDD+ bajo la CMNUCC. Bogotá D.C, Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 43 p. Disponible en: <https://tinyurl.com/5y5ajjxw>
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (s,f). Estrategia integral de control a la deforestación y gestión de los bosques. Recuperado de: <https://tinyurl.com/yt3t6ua4>
- Morales, C. R. A. (2020). La protección del medio ambiente como un derecho humano: análisis argumentativo de la sentencia STC 4360-2018 de la Corte Suprema de Justicia de Colombia. *Jurídica Ibero. Revista Semestral del Departamento de Derecho de la Universidad Iberoamericana*, (8), 85-95.
- Muñoz, J. (2016). Trabajo de grado. La Amazonía Colombiana y su importancia estratégica a nivel internacional. Bogotá, Distrito Capital, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
- Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito – UNODC, Colombia (noviembre de 2021). Plan de acción institucional de lucha contra la deforestación. Recuperado de: <https://tinyurl.com/yc7pkr96>
- Olaya López, D. F. (2022). La Amazonía colombiana como sujeto de derechos. Un caso de justicia ambiental. *Revista ius*, 16(49), 223-251. Recuperado de: <https://tinyurl.com/2ay9257j>
- Olaya, V. (2009).“Sistemas de información geográfica”. Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano núm. 8: 15p. Disponible en: <https://tinyurl.com/3ncy3j97>
- Ospino, J., & Ramos, Á. (2017). Identificación de áreas aptas para la reforestación del bosque seco tropical en córdoba - Colombia por medio de un sistema de información geográfico. Manizales, Caldas, Colombia: Universidad de Manizales.

- Palacios, E. (2015). Trabajo de grado. análisis multitemporal de los cambios de la cobertura boscosa en la zona pacífico norte del departamento del Chocó, 1990-2014. Manizales, Caldas, Colombia: Universidad de Manizales.
- Parody, M., & Zapata, E. (Noviembre de 2015). Trabajo de grado. Estudio multitemporal de la deforestación en Colombia utilizando procesamiento de imágenes. Valledupar, Cesar, Colombia: Grupo de Investigación INVECOMM.
- Pérez, I. (2020). Trabajo de grado. Análisis de cambios de coberturas en dos áreas de compensación forestal ubicadas en los municipios de la Cumbre y Dagua en el departamento del Valle del Cauca durante los años 2013, 2014 y 2020. Cali, Valle del Cauca, Colombia: Universidad Santiago de Cali.
- Pineda, J. N., Bosque, S. J., Gómez, D. M. y Plata, R. W. (2009): “Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación”, *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 69, pp. 33-52.
- Radio Nacional de Colombia. (2021). Leguizamo, el segundo municipio más afectado por deforestación en Putumayo. Recuperado de <https://www.radionacional.co>.
- Restrepo Tamayo, J. F., Hurtado, S., & Vásquez, L. (2021). El medio ambiente sano como derecho fundamental en Colombia. *Revista de Bioética y Derecho*, (52), 287-301. Recuperado de: <https://tinyurl.com/5bsjhn3h>
- Restrepo, M. Á. (2022). Apoyo al análisis de la deforestación tras la firma de los acuerdos de paz en la amazonia baja del departamento del Putumayo, utilizando la metodología MapBiomass. Recuperado de: <https://tinyurl.com/4zh9w7hm>
- Rodríguez, P., & Fajardo, E. (2023). Trabajo de grado. Análisis multitemporal de la pérdida de cobertura forestal en el Parque Nacional Natural La Paya en el periodo 2000-2001 con índices de vegetación calculados a partir de imágenes Landsat. Bogotá, Distrito Capital, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Tiria Forero, L. N., Bonilla Castillo, J. S., & Bonilla Castillo, C. A. (2018). Transformación de las coberturas vegetales y uso del suelo en la llanura amazónica colombiana: el caso de Puerto Leguizamo, Putumayo (Colombia). *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 27(2), 286-300.

Anexos

Anexo 1. Índices de precisión: Coeficiente Kappa

A continuación, se presentan las tablas correspondientes a los índices de validación de la clasificación supervisada realizada para cada uno de los años analizados (2016 a 2023). En estas se detalla el valor del coeficiente Kappa, el cual permite medir la precisión y consistencia de la clasificación. Los resultados presentados respaldan la confiabilidad de los mapas temáticos generados durante el proceso metodológico. En este orden de ideas se adjuntan las siguientes tablas:

Tabla 4

Evaluación de exactitud de la clasificación supervisada – Año 2016

ClassValue 2016	C_1	C_2	C_3	Total	U_Accuracy	Kappa
C_1	84	4	2	90	0,933	0,269
C_2	4	83	3	90	0,922	0,266
C_3	2	2	16	20	0,762	0,070
Total	89	90	21	200	0	0
P_Accuracy	0,922	0,922	0,800	0	0,896	0
Kappa	0	0	0	0	0	0,854522

Tabla 5

Evaluación de exactitud de la clasificación supervisada – Año 2017

ClassValue	C_1	C_2	C_3	Total	U_Accuracy	Kappa
C_1	78	0	0	78	1	0
C_2	0	69	0	69	1	0
C_3	0	0	10	10	1	0
Total	78	69	10	157	0	0
P_Accuracy	1	1	1	0	1	0
Kappa	0	0	0	0	0	1

Tabla 6*Evaluación de exactitud de la clasificación supervisada – Año 2018*

ClassValue	C_1	C_2	C_3	Total	U_Accuracy	Kappa
C_1	73	8	0	81	0,901234568	0
C_2	7	56	0	63	0,888888889	0
C_3	1	0	9	10	0,9	0
Total	81	64	9	154	0	0
P_Accuracy	0,901234568	0,875	1	0	0,896103896	0
Kappa	0	0	0	0	0	0,810941456

Tabla 7*Evaluación de exactitud de la clasificación supervisada – Año 2019*

ClassValue	C_1	C_2	C_3	Total	U_Accuracy	Kappa
C_1	61	10	0	71	0,85915493	0
C_2	1	75	0	76	0,986842105	0
C_3	0	0	10	10	1	0
Total	62	85	10	157	0	0
P_Accuracy	0,983870968	0,882352941	1	0	0,929936306	0
Kappa	0	0	0	0	0	0,873821875

Tabla 8*Evaluación de exactitud de la clasificación supervisada – Año 2020*

ClassValue	C_1	C_2	C_3	Total	U_Accuracy	Kappa
C_1	67	4	0	71	0,943661972	0
C_2	2	74	0	76	0,973684211	0
C_3	0	1	9	10	0,9	0
Total	69	79	9	157	0	0
P_Accuracy	0,971014493	0,93670886	1	0	0,955414013	0
Kappa	0	0	0	0	0	0,919522554

Tabla 9*Evaluación de exactitud de la clasificación supervisada – Año 2021*

ClassValue	C_1	C_2	C_3	Total	U_Accuracy	Kappa
C_1	70	3	0	73	0,95890411	0
C_2	4	69	0	73	0,945205479	0
C_3	0	0	10	10	1	0
Total	74	72	10	156	0	0
P_Accuracy	0,945945946	0,958333333	1	0	0,955128205	0
Kappa	0	0	0	0	0	0,919575784

Tabla 10*Evaluación de exactitud de la clasificación supervisada – Año 2022*

ClassValue	C_1	C_2	C_3	Total	U_Accuracy	Kappa
C_1	75	6	0	81	0,925925926	0
C_2	2	64	0	66	0,96969697	0
C_3	0	1	9	10	0,9	0
Total	77	71	9	157	0	0
P_Accuracy	0,974025974	0,901408451	1	0	0,942675159	0
Kappa	0	0	0	0	0	0,896377237

Tabla 11*Evaluación de exactitud de la clasificación supervisada – Año 2023*

ClassValue	C_1	C_2	C_3	Total	U_Accuracy	Kappa
C_1	77	0	0	77	1	0
C_2	0	70	0	70	1	0
C_3	0	0	10	10	1	0
Total	77	70	10	157	0	0
P_Accuracy	1	1	1	0	1	0
Kappa	0	0	0	0	0	1