

**Análisis multitemporal de la expansión de la
frontera agrícola en el Parque Natural
Municipal la Correntosa y su área de influencia.**

Leidy Dayana Cuellar Rodríguez

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director (a):

Magister en teledetección, Ana María Giraldo Patiño

Línea de Investigación

Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización de Sistemas de Información Geográfica

Manizales, 2024

Resumen

El Parque Natural Municipal La Correntosa contiene las fuentes hídricas que abastecen de agua apta para el consumo a la población urbana del municipio de Acevedo, Huila. El Parque está siendo impactado por actividades agropecuarias y extracción de especies maderables, lo que conlleva a la deforestación y expansión de la frontera agrícola. Analizar la expansión de la frontera agrícola en el Parque es de vital importancia para proteger los servicios ecosistémicos que brinda a la población del municipio de Acevedo. Por lo tanto, para la conservación del Parque, se implementó los sistemas de información geográfica, donde se analizó la expansión de la frontera agrícola en el Parque Natural Municipal La Correntosa y su área de influencia, a través de análisis multitemporal, usando imágenes satelitales de los años 2000, 2017 y 2023. Se identificó las coberturas vegetales Bosque Denso y Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales implementando la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia y se evaluó el cambio en las coberturas vegetales y su impacto en el Parque. Durante el periodo 2000-2023 la cobertura de Bosque Denso cambió a Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales, en una extensión de 56 hectáreas. A través del análisis multitemporal se analizó que la frontera agrícola se expande hacia el Parque Natural Municipal La Correntosa y su área de influencia considerablemente, en el año 2000 el parque y su área de influencia tenían 72 hectáreas de territorios agrícolas y para el año 2023 se expandió a 90 hectáreas.

Palabras clave: (Expansión Frontera Agrícola, áreas protegidas, análisis multitemporal).

Abstract

The La Correntosa Municipal Natural Park contains the water sources that supply drinking water to the urban population of the municipality of Acevedo, Huila. The Park is being impacted by agricultural activities and the extraction of timber species, leading to deforestation and expansion of the agricultural frontier. Analyzing the expansion of the agricultural frontier in the Park is of vital importance to protect the ecosystem services it provides to the population of the municipality of Acevedo. Therefore, for the conservation of the Park, geographic information systems were implemented, where the expansion of the agricultural frontier in the La Correntosa Municipal Natural Park and its área of influence was analyzed, through multitemporal analysis, using satellite images from the years 2000, 2017 and 2023. Dense Forest and Mosaic vegetation cover of crops, pastures and natural spaces was identified by implementing the Corine Land Cover methodology adapted for Colombia and the change in vegetation cover and its impact on the Park was evaluated. During the period 2000-2023, the coverage of Dense Forest changed to Mosaic of Crops, Pastures and Natural Spaces, in an área of 56 hectares. Through the multitemporal analysis, it was analyzed that the agricultural frontier expands towards the La Correntosa Municipal Natural Park and its área of influence considerably, in the year 2000 the park and its área of influence had 72 hectares of agricultural territories and by 2023 it expanded to 90 hectares.

Keywords: (Agricultural Frontier Expansion, protected areas, multitemporal analysis).

Contenido

	Pág.
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN	8
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA	8
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
JUSTIFICACIÓN	10
OBJETIVOS	12
OBJETIVO GENERAL	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
ANTECEDENTES	13
REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL	19
REFERENTE TEÓRICO	23
METODOLOGÍA	34
ENFOQUE METODOLÓGICO	34
TIPO DE ESTUDIO	34
PROCEDIMIENTO.....	34
<i>Fase 1. Identificación De Las Coberturas Vegetales Existentes En El Parque Municipal Natural En Los Periodos 2000, 2017 y 2023.</i>	35
<i>Fase 2. Implementación De La Metodología Corine Land Cover Adaptada Para Colombia En El Parque Municipal Natural Para Los Periodos 2000, 2017 Y 2023.</i>	46
<i>Fase 3. Evaluación Del Cambio En Las Coberturas Vegetales Y Su Impacto En El Parque Municipal Natural Para Los Periodos 2000, 2017 Y 2023.</i>	48
RESULTADOS	51
IDENTIFICACIÓN DE LAS COBERTURAS VEGETALES EXISTENTES	51
<i>Recolección Y Análisis De La Información</i>	51
<i>Definición Área De Estudio</i>	51
<i>Busqueda y Descarga De Imágenes Satelitales</i>	53
<i>Procesamiento Digital De Las Imágenes Satelitales</i>	54
IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA CORINE LAND COVER.....	66
<i>Adaptación De La Leyenda De La Metodología Corine Land Cover</i>	67
<i>Control De Calidad, Evaluación Y Validación De La Clasificación Supervisada Adaptada</i>	70
EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE LAS COBERTURAS VEGETALES	73
<i>Identificación De Los Cambios De Cobertura Vegetal</i>	74
DISCUSIÓN	79
CONCLUSIONES	82
RECOMENDACIONES	85
REFERENCIAS.....	87

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Localización área de estudio</i>	36
Figura 2. <i>Portal de Earth Explore, Planet Scope y Copernicus Browser</i>	38
Figura 3. <i>Project ráster y Extract By mask</i>	39
Figura 4. <i>Herramienta Principal Components e Índice NDVI</i>	41
Figura 5. <i>Herramienta Iso Cluster Unsupervised Classification</i>	42
Figura 6. <i>Herramientas utilizadas para la clasificación supervisada</i>	44
Figura 7. <i>Herramientas Create Accuracy Assessment Points y Compute Confusion Matrix</i>	45
Figura 8. <i>Herramienta Para Cálcular El Área De Las Coberturas Vegetales</i>	47
Figura 9. <i>Herramienta Para Detector Cambios En Las Coberturas Vegetales</i>	48
Figura 10. <i>Polígono área de estudio</i>	52
Figura 11. <i>Creación Sistema De Coordenadas Origen Nacional CTM 12</i>	55
Figura 12. <i>Recorte de Las Imágenes Multiespectrales</i>	55
Figura 13. <i>Combinación en falso color Infrarrojos</i>	57
Figura 14. <i>Análisis De Componentes Principales</i>	57
Figura 15. <i>Índice De Vegetación De Diferencia Normalizada</i>	58
Figura 16. <i>Clasificación NO Supervisada</i>	59
Figura 17. <i>Muestras De Entrenamiento Usando Los Diferentes Realces</i>	60
Figura 18. <i>Muestras de Entrenamiento De Las Temporalidades 2000, 2017 y 2023</i>	61
Figura 19. <i>Firma espectral</i>	61
Figura 20. <i>Clasificación Supervisada De Las Coberturas Vegetales Existentes</i>	62
Figura 21. <i>Control De Calidad De La Clasificación Supervisada Año 2000</i>	63
Figura 22. <i>Control De Calidad De La Clasificación Supervisada Año 2017 y 2023</i>	64
Figura 23 <i>Puntos De Evaluación y Matriz De Confusión año 2000</i>	65
Figura 24 <i>Puntos De Evaluación y Matriz De Confusión año 2017</i>	65
Figura 25 <i>Puntos De Evaluación y Matriz De Confusión año 2024</i>	66

Figura 26 <i>Clasificación Supervisada Con La leyenda CLC</i>	68
Figura 27. <i>Porcentaje De Coberturas vegetales en el año 2000</i>	69
Figura 28. <i>Porcentaje De Coberturas vegetales en el año 2017</i>	69
Figura 29. <i>Porcentaje De Coberturas vegetales en el año 2023</i>	70
Figura 30. <i>Control De Calidad De La Clasificación Supervisada Adaptada Año 2000</i>	71
Figura 31. <i>Control De Calidad De La Clasificación Supervisada Adaptada Año 2017 y 2023</i>	72
Figura 32. <i>Puntos De Evaluación y Matriz De Confusión, Clasificación Supervisada Adaptada Año 2000</i>	
Figura 33. <i>Puntos De Evaluación y Matriz De Confusión, Clasificación Supervisada Adaptada Año 2017</i>	
Figura 34. <i>Puntos De Evaluación y Matriz De Confusión, Clasificación Supervisada Adaptada Año 2023</i>	
Figura 35. <i>Cambios De Coberturas Vegetales En Los Periodos 2000-2017, 2017-2023 Y 2000-2023</i>	
Figura 35. <i>Porcentaje De Cambio Coberturas Vegetales Periodo 2000-2017</i>	74
Figura 36. <i>Porcentaje De Cambio Coberturas Vegetales Periodo 2000-2017</i>	76
Figura 37. <i>Porcentaje De Cambio Coberturas Vegetales Periodo 2017-2023</i>	77
Figura 38. <i>Porcentaje De Cambio Coberturas vegetales en el año 2000 a 2023</i>	78
Figura 39. <i>Dinámicas De Las Coberturas En Las Tres Temporalidades</i>	81

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Frontea Agrícola de Colombia</i>	23
Tabla 2 <i>Frontea Agrícola del municipio de Acevedo</i>	24
Tabla 3. <i>Información sensores landsat</i>	28
Tabla 4. <i>Información sensores Sentinel</i>	29
Tabla 5. <i>Información sensores Planet Scope</i>	30
Tabla 6. <i>Imágenes Descargadas</i>	53
Tabla 7. <i>Coberturas Identificadas y Su Leyenda Según La Metodología Corine Land Cover</i>	67
Tabla 8. <i>Área De Las Coberturas En Las Tres Temporalidades</i>	68
Tabla 9. <i>Áreas De Los Cambios De Las Coberturas Vegetales En Los Tres Periodos</i>	75

Planteamiento Del Problema De Investigación Y Su

Justificación

En la siguiente investigación se realizará un análisis de la expansión de la frontera agrícola en el Parque Natural Municipal (PNM) La Correntosa, área protegida del municipio de Acevedo Huila, a través de un análisis multitemporal usando imágenes satelitales de los años 2000, 2017 y 2023. Esto con el fin de conservar el Parque, debido a que las áreas protegidas (AP) son una estrategia fundamental y esencial para reducir la pérdida de biodiversidad (Clerici y otros, 2020).

Descripción Del Área Problemática

La expansión agrícola durante los últimos años ha tenido lugar en los trópicos, ya que se encuentran la mayor parte de las tierras productivas sin cultivar, lo cual provoca una deforestación generalizada en los bosques tropicales y subtropicales (Carlsony otros 2017, Baumann y otros, 2022). La pérdida de bosques tropicales ha continuado en las últimas décadas a pesar del amplio reconocimiento de su importancia para mantener la biodiversidad (Chadid y otros, 2015). Colombia, país ubicado entre los trópicos tiene establecida una frontera agrícola que cubre el 34,7% (39.239.481 has) del territorio, sin embargo, hay 2.2 millones de hectáreas de actividades agrícolas en áreas protegidas, como reservas forestales y naturales; páramos y parques naturales (Unidad de Planificación Rural agropecuaria, 2022). La tala ilegal, y la

ampliación de la frontera agrícola son una de las principales causas directas de la deforestación en Colombia. (Instituto de Hidrología, meteorología y Estudios Ambientales, 2021)

En el municipio de Acevedo, localizado en las estribaciones de la cordillera oriental por el suroriente del departamento del Huila, se ubica el PNM La Correntosa, que protege la cuenca de la Quebrada La Correntosa, la cual abastece de agua apta para el consumo a la población del casco urbano del municipio. Dicho parque está siendo impactado por factores antrópicos como lo es la expansión de la frontera agrícola para el desarrollo de actividades agropecuarias, como la ganadería y cultivos, y por actividades de comercialización de madera y carbón.

Lo anteriormente mencionado conlleva grandes afectaciones al Parque Natural Municipal, como lo es la deforestación, que además de causar pérdida de hábitat y desplazamiento de especies, lleva a la pérdida de la cobertura vegetal, y ante largas temporadas de lluvia remoción de masa, poniendo en riesgo la infraestructura del acueducto, desabastecimiento de agua apta para el consumo, afectación a cultivos y a personas aledañas a las cuencas del Parque Natural Municipal.

Es por esto, que es de gran importancia realizar un análisis del crecimiento de la frontera agrícola del PNM La Correntosa y su área de influencia, a través de un análisis multitemporal usando imágenes satelitales de los años 2000, 2017 y 2023.

Formulación Del Problema

¿Cómo analizar la expansión de la frontera agrícola en el Parque Natural Municipal La Correntosa, municipio de Acevedo, mediante la implementación de sistemas de información geográfica para la conservación del área protegida?

Justificación

El análisis de la expansión de la frontera agrícola en el PNM La correntosa es de vital importancia para proteger los servicios ecosistémicos que brinda a la población del municipio de Acevedo. Además, el PNM pertenece a la Reserva Forestal de la Amazonia Ley 2^{da} de 1959 de tipo A, y hace parte de macizo colombiano, por lo tanto, pertenece a la reserva de la Biosfera del cinturón andino.

Es decir, es una zona que garantiza el mantenimiento de los procesos ecológicos básicos necesarios para a segura la oferta de servicios ecosistémicos, relacionados principalmente con la regulación hídrica y climática; la asimilación de contaminantes del aire y del agua; la formación y protección del suelo; la protección de paisajes singulares y de patrimonio cultural; y el soporte a la diversidad biológica (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

Esta investigación se realizará sin tener antecedentes sobre el análisis de la expansión de la frontera agrícola en el PNM la Correntosa. Por lo tanto, se generará información referente y de impacto para la población del municipio de Acevedo y para entidades gubernamentales, como la alcaldía municipal de Acevedo, Empresas Públicas de Acevedo quien maneja el acueducto regional ubicado en el PNM y La Corporación Autónoma del Alto Magdalena, que mediante planes, programas o políticas pueden tomar medidas para detener la expansión de la frontera agrícola y promover el manejo sostenible de tierras, uso más eficiente del suelo y de los recursos naturales que brindan las reservas y áreas naturales protegidas.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la expansión de la frontera agrícola en el Parque Natural Municipal La Correntosa y su área de influencia, municipio de Acevedo, para la conservación del área protegida, a través de un análisis multitemporal, usando imágenes satelitales en el año 2000, 2017 y 2023.

Objetivos Específicos

Identificar las coberturas vegetales existentes en el Parque Natural Municipal La Correntosa y su área de influencia en el año 2000, 2017 y 2023.

Implementar la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia en las coberturas vegetales existentes del Parque Natural Municipal La Correntosa y su área de influencia en el año 2000, 2017 y 2023.

Evaluar el cambio en las coberturas vegetales y su impacto en el Parque Natural Municipal La Correntosa y su área de influencia en el año 2000, 2017 y 2023.

Antecedentes

El Parque PMN La Correntosa y su área de influencia no cuenta con antecedentes sobre el análisis de la expansión de la frontera agrícola, por lo tanto, para la presente investigación se tiene en cuenta literatura o estudios realizados sobre la implementación de sistemas de información geográfica en el análisis de la expansión de la frontera agrícola en áreas protegidas del país u otros países y regiones tropicales.

Anzoategui et al., (2023), determinan los principales cambios de las coberturas vegetales (periodos 1986 - 2000 - 2016) que reflejan bordes a manera de frontera agrícola, en la zona de páramo del Parque Regional Natural Cortadera (municipio de Siachoque, Colombia). Identificaron coberturas vegetales a partir de la metodología CORINE Land Cover, a escala 1:100.000, con el procesamiento de imágenes satelitales Landsat. Encontraron coberturas representativas Bosque abierto alto (Baa), Herbazal denso de tierra firme no arbolado (HdTf), Mosaico de pastos y cultivos (Mpc), Lagunas, lagos y ciénagas naturales (LICn) y Cuerpos de agua artificial (Caa). Concluyen que los cambios en la distribución porcentual de coberturas vegetales son generados por ampliación de la frontera agrícola, a pesar de la declaratoria en 2015 como área protegida, denotan una clara necesidad de abordaje desde la acción participativa actores involucrados en el proceso de conservación, restauración y preservación del Páramo Cortadera.

Bonfanti & Sánchez, (2023), estudiaron las transformaciones tanto en el ámbito forestal como agropecuario que han ocurrido en el este de la provincia de Salta, Argentina, entre los años 2000 y 2021. A través de un método cuantitativo basado en la recopilación y análisis de datos de imágenes satelitales, evidenciaron que durante las últimas dos décadas existió un rápido avance de la frontera agropecuaria para la producción agrícola y ganadera empresarial, lo que devino en la ocupación de territorios que, hacia fines de siglo XX, todavía eran considerados marginales.

Baumann et al., (2022), realizaron el estudio métricas de frontera para una comprensión basada en procesos de la dinámica de la deforestación, en Chaco, Ecorregión de América del sur, el cual es un punto crítico de deforestación mundial por la expansión de la frontera agrícola. Los resultados del estudio arrojan que la expansión agrícola ha sido rampante en el Chaco, con más de 19,3 millones de hectáreas de bosques convertidos entre 1985 y 2020, incluido un aumento de la deforestación después de 2019. Y que las trayectorias de uso de la tierra conectadas con los procesos fronterizos han cambiado de manera importante a lo largo de los últimos años.

Lonbeck et al., (2022), cuantificaron la dinámica forestal espaciotemporal en una frontera agrícola recientemente colonizada en el sur de México, y probaron cómo la variación temporal en el clima y la variación intercomunitaria en la propiedad de la tierra, la calidad de la tierra y la accesibilidad afectan la perturbación forestal, el rebrote y la persistencia del bosque secundario. Encontraron más pérdida de bosques que regeneración, lo que resultó en una disminución neta del 45 % de la cubierta forestal (1991–2016) en la región de estudio. Y que la cubierta forestal secundaria se mantuvo relativamente constante mientras que la persistencia del bosque

secundario aumentó, lo que sugiere que los agricultores se están alejando de la agricultura migratoria. La variación temporal de la perturbación se explicó por la variación anual de las variables climáticas y las políticas clave y las intervenciones de mercado.

Gallardo Arce et al., (2022), identificaron las modificaciones en la cobertura vegetal y uso de suelo asociados a actividades agrícolas mediante la clasificación de uso de suelo durante el periodo 2000-2020, con tres imágenes satelitales Landsat procesadas con herramientas de un sistema de información geográfica (SIG), donde obtuvieron cinco coberturas vegetales. Los autores identificaron aceleradas transformaciones, sustituyendo elementos naturales por artificiales; dando como resultado la falta de equilibrio e integración al entorno, así como paisajes construidos donde se han presentado diferentes escenarios agrarios y rurales con drásticas transformaciones derivadas de la urbanización acelerada.

Devia Acosta & Piñeros Lizarazo, (2022), realizaron el mapeo de la dinámica territorial de las economías extractivas en una parte de la Orinoquia colombiana considerada como la última frontera agrícola del país. El mapeo fue un insumo para el análisis de la especialización del extractivismo que considera las transformaciones recientes en las áreas de agricultura campesina y el crecimiento de las áreas de cultivos agroindustriales, así como las nuevas extensiones de monocultivos y de producción petrolera. Evidenciaron la dimensión multiescalar del extractivismo y la complementariedad entre la expansión petrolera y agroindustrial en la Orinoquia, en el departamento del Meta y en otras regiones de la escala nacional como resultado de la demanda internacional de *commodities*.

Siegel et al., (2021), para comprender mejor la deforestación y la expansión agrícola en las áreas protegidas amazónicas, combinaron modelos cuantitativos de cambio de uso de la tierra con análisis cualitativos del discurso en un estudio de caso del Bosque Nacional Jamanxim de Brasil. Donde modelaron el cambio de uso de la tierra de 2008 a 2018 y proyectaron la deforestación hasta 2028. Usando variables identificadas en una revisión de estudios que modelaron el cambio de uso de la tierra en la Amazonía (por ejemplo, variables relacionadas con la idoneidad agrícola y la accesibilidad económica) y de un análisis crítico del discurso que examinó documentos producidos por diferentes actores (por ejemplo, agencias gubernamentales y organizaciones de conservación sin fines de lucro) en varias escalas espaciales.

Maciel et al., (2020), examinan las transformaciones del uso y la cobertura del suelo en Brasil, donde se están eliminando grandes extensiones de vegetación natural para dar paso a la producción agrícola. Por ende, realizaron el análisis de la trayectoria temporal para discutir los patrones de cambio de las prácticas agrícolas en los diferentes biomas del estado de Mato Grosso, una de las fronteras agrícolas de Brasil. Tomando imágenes clasificadas de cobertura y uso de suelo anuales de 2001 a 2017, el LUC Calculus se utilizó como herramienta para extraer información sobre trayectorias y trayectorias de cambio.

Florez Yepes et al., (2017), Realizan un análisis multitemporal de una zona con influencia de dos sistemas productivos principalmente: la ganadería y la minería y sobre la cual se presentan impactos ambientales significativos. Utilizaron los SIG como principal herramienta

y digitalizaron fotografías aéreas de los años 1998 y 2010 y una imagen tomada de Google Earth del año 2015. En el análisis establecieron las variaciones en las coberturas vegetales en el tiempo, la influencia de los sistemas productivos sobre las áreas boscosas, las áreas que han tenido procesos de recuperación y otras que con el tiempo han ido desapareciendo. Como es el caso de la ampliación de la frontera agrícola y pecuaria que ha ocasionado la pérdida de los bosques, incrementando la fragmentación y contribuyendo al deterioro del paisaje, notándose que en los últimos años ha disminuido la producción de pastos.

Devries et al., (2015), presentan un método sólido basado en datos para rastrear la deforestación y degradación tropical en datos de series temporales de Landsat, es el método Breaks For Additive Season and Trend Monitor (BFAST Monitor). Cuando se aplica este método a los datos de series de tiempo Landsat NDVI utilizando períodos de monitoreo definidos secuencialmente, se puede usar para rastrear perturbaciones forestales a pequeña escala anualmente, como es el caso de su aplicación en un sistema forestal afro-montano en el sur de Etiopía.

Referente normativo y legal

El municipio de Acevedo y su PNM La Correntosa están ubicados en el macizo Colombiano, lo cual pertenecen al cinturón andino declarado por la UNESCO reserva de la Biosfera, y hacen parte de la Reserva Forestal de la Amazonia de tipo A y C, por lo tanto, los rige el CONPES 3915 que dicta los lineamientos de política y estrategias para el desarrollo regional sostenible del Macizo Colombiano, el 4050 que establece la política para la consolidación del sistema nacional de áreas protegidas y el 4021 política nacional para el control de la deforestación y la gestión sostenible de los bosques.

UNESCO, 1979: declara la Reserva de la Biosfera Cinturón Andino, ubicada en el Macizo Colombiano, en la Cordillera de los Andes en el sur de Colombia. Comprende tres Parques Nacionales: el Parque Nacional Cueva de los Guacharos, el Parque Nacional Puracé y el Parque Nacional Nevado del Huila. El Parque Nacional Cueva de los Guacharos comprende formaciones geológicas especiales y complejas y cuevas creadas por el río Suaza.

Constitución política del 1991: la carta magna colombiana, entre sus artículos 8, 58, 63, 79, 80, 334, 336 y otros, contempla la importancia de la conservación de la diversidad biológica del país, además de relacionar los deberes del estado y particulares, y los derechos de las personas a gozar de un ambiente sano.

Ley 2ª de 1959: Con el objeto de conservar los recursos naturales renovables y sobre la economía forestal de la nación se decreta en el artículo 1º “Para el desarrollo de la economía forestal y protección de los suelos, las aguas y la vida silvestre, se establecen con carácter de "Zonas Forestales Protectoras" y "bosques de Interés General”, las zonas de reserva forestal, comprendidas dentro de los límites que para cada bosque nacional se fijan”, entre ellas:

La Zona de Reserva Forestal de la Amazonía, comprendida dentro de los siguientes límites generales: Partiendo de Santa Rosa de Sucumbió, en la frontera con el Ecuador , rumbo Noreste hasta el Cerro más alto de los Picos de la fragua; de allí siguiendo una línea de 20 kilómetros al Oeste de la Cordillera Oriental hasta el alto de las Oseras; de allí en línea recta, por su distancia más corta, al río Ariari, y por éste hasta su confluencia con el río Guayabero o el Guaviare, por el cual se sigue aguas abajo hasta su desembocadura en el Orinoco: luego se sigue la frontera con Venezuela y el Brasil hasta encontrar el río Amazonas, siguiendo la frontera Sur del país hasta el punto de partida.

Resolución 1925 de 2013: tiene por objeto adoptar la zonificación y el ordenamiento de las áreas de la reserva forestal de la Amazonia, establecida en la ley 2da de 1959, en el caso del PNM La Correntosa aplica la zonificación de tipo A y una pequeña parte de tipo C, lo cual establecen:

Tipo A: zonas que garantizan el mantenimiento de los procesos ecológicos básicos necesarios para asegurar la oferta de servicios ecosistémicos, relacionados principalmente con la regulación hídrica y climática; la asimilación de contaminantes del aire y del agua; la formación y protección del suelo; la protección de paisajes singulares y de patrimonio cultural; y el soporte a la diversidad biológica.

Tipo C: zonas que por sus características biofísicas ofrecen condiciones para el desarrollo de actividades productivas agroforestales, silvopastoriles y otras compatibles con los objetivos de la reserva forestal, que debe incorporar el componente forestal, y que no impliquen la reducción de las áreas de bosque natural presentes en sus diferentes estados sucesionales.

Resolución 0261 de 2018: por medio de la cual se define la frontera agrícola nacional y se adopta la metodología para identificación general, cuyo objetivo es contribuir a la formación y focalización de la gestión de la política pública del sector agropecuario, pesquero y de desarrollo rural. Además, promover el uso eficiente del suelo rural agropecuario, el ordenamiento productivo y social de la propiedad rural, y el fortalecimiento de la productividad y competitividad de las actividades agropecuarias. Asimismo, contribuir a estabilizar y disminuir la pérdida de ecosistemas de importancia ambiental.

Decreto 4145 de 2011: Crea la Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios (UPRA), que tiene como objeto orientar la política de gestión del territorio para usos agropecuarios y entre sus funciones debe Planificar el uso eficiente del suelo rural, Definir criterios y diseñar instrumentos para el ordenamiento del suelo rural apto para el desarrollo agropecuario, que sirvan de base para la definición de políticas a ser consideradas por las entidades territoriales en los Planes de Ordenamiento Territorial.

Decreto del PNM La Correntosa: en el año 2005 el concejo municipal del municipio de Acevedo declaró el Parque Natural Municipal La Correntosa, con el fin de conservar y proteger la cuenca de la quebrada La Correntosa, donde se ubica el Acueducto Regional que abastece el

municipio de Acevedo, con una extensión inicial de 271 hectáreas y que hoy es de 500 hectáreas. Los PNM, son una estrategia de conservación de áreas, por cuanto son una fuente generadora de bienes y servicios ambientales que benefician la población rural y urbana, pues estas proveen de agua las fuentes abastecedoras de acueductos veredales y municipales.

Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT): el Municipio de Acevedo, en cumplimiento de lo establecido en la Ley 388 de 1997 realizó la formulación del Esquema de Ordenamiento Territorial, sin embargo, cumpliendo al plan de desarrollo 2016-2019 se formuló el Plan Básico de Ordenamiento Territorial 2016-2027 (Alcaldía de Acevedo, 2018).

Referente teórico

Para el desarrollo de este proyecto se tiene en cuenta diferentes conceptos fundamentales para comprender y analizar la expansión de la frontera agrícola en el PNM La Correntosa, tales como:

Frontera agrícola nacional: Se define como el límite del suelo rural que separa las áreas donde se desarrollan las actividades agropecuarias, las áreas condicionadas y las áreas protegidas, las de especial importancia ecológica, y las demás áreas en las que las actividades agropecuarias están excluidas por mandato de la ley (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018). En Colombia, la resolución 261 de 2018 define la frontera agrícola, estableciendo el 34,7% del territorio para contribuir con la seguridad jurídica para el desarrollo de la agricultura, mientras que el 23,1% son exclusiones legales y el 42.2% son bosques y otras coberturas no agropecuarias, como se evidencia en la tabla 1.

Tabla 1

Frontera Agrícola de Colombia

Categoría	Área en hectáreas	Área en porcentaje
Frontera agrícola nacional	39,600,143	34,7%
Bosques naturales y áreas no agropecuarias	48.036.042	42,2%
Exclusiones legales	26.438.785	23,1%

Nota: Adaptada (Unidad de Planificación Rural agropecuaria, 2022)

De igual manera se evidencia en la tabla Tabla 2 la extensión de la frontera agrícola, exclusiones legales, bosques naturales y áreas no agropecuarias establecidas en el Municipio de Acevedo.

Tabla 2

Frontera Agrícola del municipio de Acevedo

Categoría	Área en has	Área en porcentaje
Frontera agrícola nacional	31,600	58,6%
Bosques naturales y áreas no agropecuarias	659	1,2%
Exclusiones legales	21,629	40,1%

Nota. Adaptada (Unidad de Planificación Rural agropecuaria, 2022)

Cobertura y uso del suelo: El término "cobertura de suelo" se refiere a la descripción del material físico en la superficie de la Tierra, diferenciándose así del término "uso de suelo", el cual está definido por las asignaciones derivadas de la actividad humana en un territorio. Sin embargo, ambos están estrechamente relacionados, razón por la que muchos proyectos combinan el mapeo de uso y la cobertura de suelo (Comision Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2020). Los estudios relacionados con los cambios progresivos en la cobertura vegetal y de uso de suelo han cobrado importancia en la investigación ambiental, ya que permiten evaluar las tendencias espaciotemporales de procesos como la deforestación y degradación ambiental, provocadas por actividades humanas (Escandon Calderon y otros, 2018).

El IGAC (2013) define la cobertura del suelo como el aspecto morfológico y tangible de este, que comprende todos los elementos constitutivos del recubrimiento de la superficie terrestre, de origen natural o cultural, los cuales son observados y permiten ser medidos, con fotografías aéreas, imágenes de satélite u otros sensores remotos. Este concepto se relaciona íntimamente con lo que se conoce como uso de la tierra, que hace referencia a las funciones que se desarrollan sobre aquellas cubiertas, a las actividades realizadas por el hombre sobre ellas, de forma parcial o permanente, con la intención de cambiarlas o preservarlas, para obtener productos y beneficios; por ejemplo, la minería, la agricultura, la pesca, etc. (Suarez Parra y otros, 2016).

Áreas protegidas: la ley 165 de 1994 la define como “área definida geográficamente que haya sido designada o regulada y administrada a fin de alcanzar objetivos específicos de conservación”, y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza – UICN, la define como “Un espacio geográfico claramente definido, reconocido, dedicado y gestionado, mediante medios legales u otros tipos de medios eficaces para conseguir la conservación a largo plazo de la naturaleza y de sus servicios ecosistémicos y sus valores culturales asociados” (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2010).

Categorías de áreas protegidas: según Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076 (2015), las categorías de áreas protegidas que conforman el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) son: los Sistemas de Parques Nacionales Naturales, las Reservas Forestales Protectoras, Los Parques Nacionales Regionales, Los

Distritos de Manejo Integrado, Los distritos de Conservación de suelos, Las áreas de Recreación, Las áreas protegidas Privadas y las Reservas Naturales de la Sociedad Civil.

Zonas de influencia: son terrenos con diferentes grados de uso del suelo, situados entre áreas naturales protegidas, donde es posible la continuidad biológica y social entre las mismas áreas protegidas y otras áreas igualmente importantes por la forma en que los habitantes se relacionan con la naturaleza y reproducen su vida (Valdés Perezgasga, 2014)

Reserva Forestal Protectora: según el decreto 2372 de 2010, en su artículo 12. Es un espacio geográfico en el que los ecosistemas de bosque mantienen su función, aunque su estructura y composición haya sido modificada y los valores naturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a su preservación, uso sostenible, restauración, conocimiento y disfrute. Esta zona de propiedad pública o privada se reserva para destinarla al establecimiento o mantenimiento y utilización sostenible de los bosques y demás coberturas vegetales naturales.

Parque Natural Municipal: Los PNM, son una estrategia de conservación de áreas, por cuanto son una fuente generadora de bienes y servicios ambientales que benefician la población rural y urbana. Estas proveen de agua las fuentes abastecedoras de acueductos veredales y municipales (Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena, s.f.).

Sistemas de Información Geográfica (SIG): Sistema que crea, administra, analiza y mapea todo tipo de datos. SIG conecta datos a un mapa, integrando datos de ubicación con todo tipo de información descriptiva. Los sistemas de información geográfica y la teledetección se han convertido en las últimas décadas en una herramienta que conjuga varios elementos tecnológicos que permiten obtener productos con un nivel de detalle alto y resultados óptimos que facilitan la toma de decisiones respecto a procesos de planificación y desarrollo, en muchos casos enfocados a la agricultura, conservación, meteorología, la ordenación del territorio o la elaboración de cartografía entre otros (Grande Medina, 2015).

Imágenes satelitales: Una imagen satelital es una representación visual de los datos, reflejados por la superficie de la tierra que captura un sensor montado en un satélite artificial. Los datos son enviados a una estación terrena en donde se procesan y se convierten en imágenes, enriqueciendo los conocimientos de las características de la Tierra en diferentes escalas espaciales (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] s.f).

Landsat: es uno de los programas de imágenes de satélite más antiguos. Sus datos de alta calidad abarcan muchos rangos de longitud de onda del espectro electromagnético y realzan entidades que, de lo contrario, serían invisibles al ojo humano, cada rango se almacena por separado en una banda espectral y resulta especialmente útil para resaltar un tipo de entidad o propiedad de paisaje (Esri, 2023). En la tabla 3 se observan los diferentes satélites landsat, sensores y las resoluciones espectrales, espaciales, radiométricas y temporales.

Tabla 3.

Información Sensores Landsat

Satélite y Sensor	Resolución espectral y espacial	Resolución radiométrica y temporal
Landsat 5 Sensor Thematic mapper TM	Banda 1 Visible Azul (0.45 – 0.52 μm) -30m	8 bits
	Banda 2 Visible Verde (0.52 – 0.60 μm) -30m	
	Banda 3 Visible Roja (0.63 – 0.69 μm) -30m	18 días
	Banda 4 Infrarrojo cercano (0.76 – 0.90 μm) -30m	
	Banda 5 Infrarrojos onda corta (1.55 – 1.75 μm) -30m	
	Banda 6 Infrarrojo térmica (10.4 – 12.5 μm) -120m	
	Banda 7 Infrarrojo medio (2.08 – 2.35 μm)-30m	
Landsat 7 Sensor enhancedThematic Plus ETM+	Banda 1 visible Azul (0.45 – 0.52 μm) -30m	8 bits
	Banda 2 visible Verde (0.53 – 0.61 μm) -30m	16 días
	Banda 3 visible Roja (0.63 – 0.69 μm) -30m	
	Banda 4 Infrarrojo cercano (0.78 – 0.90 μm) -60m	
	Banda 5 Infrarrojos onda corta (1.55 – 1.75 μm)-60m	
	Banda 6 Infrarrojo térmica (10.4 – 12.5 μm) -60m	
	Banda 7 Infrarrojo medio (2.08 – 2.35 μm)-60m	
	Banda 8 Pancromático (0.52 – 0.90 μm) -15m	
Landsat 8 Sensor Operational Land Imager OLI Thermal Infrared sensor TIRS	Banda 1 Aerosol costero (0.43 – 0.45 μm)-30m	12 bits
	Banda 2 Azul (0.45 – 0.51 μm) -30m	16 días
	Banda 3 Verde (0.53 – 0.59 μm) -30m	
	Banda 4 Roja (0.64 – 0.67 μm) -30m	
	Banda 5 infrarrojo cercano (0.85 – 0.88 μm) -30m	
	Banda 6 SWIR 1 (1.57 – 1.65 μm) -30m	
	Banda 7 SWIR 2 (2.11 – 2.29 μm) -30m	
	Banda 8 Pancromático (0.50 – 0.68 μm) -15m	
	Banda 9 Cirrus (1.36 – 1.38 μm) -30m	
	Banda 10 TIRS (10.6 – 11.2 μm) -100m	
	Banda 11 TIRS (11.5 – 12.5 μm)-100m	
Landsat 9 Sensor Operational Land Imager 2 OLI-2 Thermal Infrared sensor 2 TIRS-2	Banda 1 visible (0.43 – 0.45 μm)-30m	14 bits
	Banda 2 visible (0.45 – 0.51 μm) -30m	8 días
	Banda 3 visible (0.53 – 0.59 μm) -30m	
	Banda 4 Roja (0.64 – 0.67 μm) -30m	
	Banda 5 infrarrojo cercano (0.85 – 0.88 μm) -30m	
	Banda 6 SWIR 1 (1.57 – 1.65 μm) -30m	
	Banda 7 SWIR 2 (2.11 – 2.29 μm) -30m	
	Banda 8 Pancromático (0.50 – 0.68 μm) -15m	
	Banda 9 Cirrus (1.36 – 1.38 μm) -30m	
	Banda 10 TIRS (10.6 – 11.2 μm) -100m	
	Banda 11 TIRS (11.5 – 12.5 μm)-100m	

Nota: adaptado página ESRI

Sentinel: la Agencia Espacial Europea desarrolló la familia de satélites Sentinel, cuyas misiones están respaldadas por el segmento terrestre de Copernicus, que supervisa las operaciones de los satélites, así como la adquisición, producción y difusión de datos (Agencia Espacial Europea, 2024). En la tabla 4 se observan los diferentes satélites sentinel, sus sensores y las resoluciones espectrales, espaciales, radiométricas y temporales.

Tabla 4.

Información Sensores Sentinel

satélite y Sensor	Resolución espectral y espacial	Resolución radiométrica y temporal
Sentinel 1 (Sentinel 1A y 1B)	Banda C-10m	12 bits
	Banda L-10m	
	Banda X-5m	6 días
Radar de Apertura Sintética (SAR)		
Sentinel 2 (Sentinel 2A y 2B)	Banda 1: Aerosol (0.43- 0.45 μm) – 60 m	12-16 bits
	Banda 2: Blue (0.45- 0.52 μm) – 10 m	
	Banda 3: Green (0.54-0.57 μm) - 10 m	
	Banda 4: Red (0.65-0.68 μm) - 10 m	5-10 días
	Banda 5: Red Edge 1 (0.69-0.71 μm) - 20 m	
	Banda 6: Red Edge 2 (0.73-0.74 μm) - 20 m	
	Banda 7: Red Edge 3 (0.77-0.79 μm) - 20 m	
	Banda 8: NIR 1 (0.78-0.90 μm) - 10 m	
	Banda 8A: NIR 2 (0.85-0.87 μm) - 20 m	
	Banda 9: Water Vapour (0.93-0.95 μm)-60 m	
	Banda 10: Cirrus (1.36-1.39 μm) - 60 m	
	Banda 11: Swir 1 (1.56-1.65 μm) - 20 m	
Banda 12: Swir 2 (2.10-2.28 μm) - 20 m		

Nota: adaptada página Copernicus

Planet Scope: la Agencia Espacial Europea ofrece para la investigación científica y el desarrollo de aplicaciones, acceso a los datos del archivo completo de las misiones Planet Scope

tras la presentación y aceptación de una propuesta de proyecto. Estas colecciones están disponibles como parte de la oferta de imágenes de Planet (Agencia Espacial Europea, 2024). La constelación completa Planet Scope de aproximadamente 130 satélites es capaz de tomar imágenes de toda la superficie terrestre de la Tierra todos los días. En la tabla 5 se observan los diferentes satélites sentinel, sus sensores y las resoluciones espectrales, espaciales, radiométricas y temporales.

Tabla 5.

Información sensores Planet Scope

Satélite y Sensor	Resolución espectral y espacial	Resolución radiométrica y temporal
Planet Scope	Banda 1: Azul: (0.45 – 0.51 μm) – 3m Banda 2: Verde: (0.50 – 0.59 μm) – 3m	12 bits
Dove PS2	Banda 3: Rojo: (0.59 – 0.67 μm) – 3m Banda 4: NIR: (0.78 – 0.86 μm) – 3m	1 día
Planet Scope	Banda 1: Azul: (0.46 – 0.51 μm) – 3m Banda 2: Verde: (0.54 – 0.58 μm) – 3m	12 bits
Dove-R PS2.SD	Banda 3: Rojo: (0.65 – 0.68 μm) – 3m Banda 4: NIR: (0.84 – 0.88 μm) – 3m	1 día
Planet Scope	Banda 1: Azul costero (0.43 – 0.45 μm) – 3m Banda 2: Azul: (0.46 – 0.51 μm) – 3m	12 bits
SuperDove PSB.SD	Banda 3: Verde I: (0.51 – 0.54 μm) – 3m Banda 4: Verde: (0.54 – 0.58 μm) – 3m Banda 5: Amarillo: (0.60 – 0.62 μm) – 3m Banda 6: Rojo: (0.65 – 0.68 μm) – 3m Banda 7: Borde rojo: (0.69 – 0.71 μm) – 3m Banda 8: NIR: (0.84 – 0.88 μm) – 3m	1 día

Nota: adaptada página Planet Scope

Sensores Remotos: son Instrumentos utilizados para recolectar información rápida y viable de un objeto, área o fenómeno a distancia. Dicha información puede ser procesada e interpretada mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para tener una mejor comprensión. Los sensores remotos instalados a bordo de una plataforma son los más utilizados en los últimos años, y registran la energía electromagnética emitida o reflejada por la superficie de un objeto en distintas bandas del espectro electromagnético (Veneros y otros, 2020).

Resolución Espectral: Capacidad para detectar diferentes longitudes de onda o bandas espectrales en el espectro electromagnético. Indica el número y el ancho de las bandas espectrales que puede detectar un sensor, entre más bandas y menos estrechas mejor será el sensor.

Resolución Espacial: la cual distingue el objeto más pequeño sobre una imagen, se refiere al tamaño de la mínima unidad del píxel, a menor tamaño de píxel se aumenta la probabilidad de identificar con mayor detalle un objeto.

Resolución Radiométrica: indica la sensibilidad del sensor, es decir la capacidad de discriminar entre pequeñas variaciones en la radiación que capta, se refiere a la cantidad de niveles de gris en los que se divide la radiación recibida para su almacenamiento y procesamiento posterior. Cuanto mayor sea la precisión radiométrica mayor número de detalles podrán captarse en la imagen.

Resolución Temporal: indica el tiempo del paso del satélite sobre la vertical de un punto, está condicionada por el tipo de órbita, el ángulo de barrido y la velocidad del satélite.

Metodología de Corine land cover (MCLC): es una metodología francesa adaptada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para Colombia; consiste en la evaluación de coberturas de la tierra mediante el uso de imágenes satelitales tipo Landsat (Suarez Parra y otros, 2016). El requisito básico para implementar el programa es la existencia de cambios espectrales, que son detectados mediante el uso de sensores remotos; estos cambios son visiblemente percibidos en la comparación de dos imágenes tomadas en diferentes periodos de tiempo, y los resultados se presentan en forma de polígonos, líneas o puntos. Estos resultados toman alta importancia científica, ambiental y política como base para el ordenamiento territorial, orientado a la toma de decisiones, la formulación de políticas de protección y conservación de los recursos naturales (Feranec et al. 2007), (Alva y León 2014), (Suarez Parra y otros, 2016).

Territorios agrícolas: Según la MCLC son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho. Comprende las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas.

Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales: Según la MCLC comprende las superficies del territorio ocupadas principalmente por coberturas de cultivos y pastos en combinación con espacios naturales, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño (inferior a 25 ha) y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual. Los espacios naturales están conformados por las áreas ocupadas por relictos de bosque natural, arbustales, bosque de galería o riparios, vegetación secundaria o en transición, pantanos y otras áreas no intervenidas o poco transformadas, que debido a limitaciones de uso por sus características biofísicas permanecen en estado natural o casi natural. Aquí se incluye:

Mezcla de parcelas de pastos y cultivos con intercalaciones de espacios naturales, con área mayores a 25 ha. Parcelas agrícolas de cultivos anuales o transitorios con área menor a 25 ha. Zonas pantanosas con área menor a 25 ha. Pequeños cuerpos de agua naturales con área menor a 25 ha. Relictos de bosques con área menor a 25 ha. Bosques de galería o riparios y arbustales con área menor a 25 ha. Parcelas de cultivos confinados y frutales con área menor a 25 ha • Infraestructuras asociadas con los pastos manejados (viviendas rurales, setos, vías).

Bosque Denso: según la MCLC es la obertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total de la unidad, y con altura del dosel superior a cinco metros. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999).

Metodología

Enfoque metodológico

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que se usaron variables que permitieron medir fenómenos como la expansión de la frontera agrícola en un PNM del municipio de Acevedo.

Tipo de estudio

Para el desarrollo de esta investigación se implementó la investigación aplicada de tipo correlacional, donde se relacionan los sistemas de información geográfica con el análisis espacial para determinar la ampliación de la frontera agrícola en el PNM La Correntosa.

Procedimiento

En el desarrollo de la presente investigación se realizó un proceso metodológico de 3 fases mencionadas a continuación con una serie de actividades cada una.

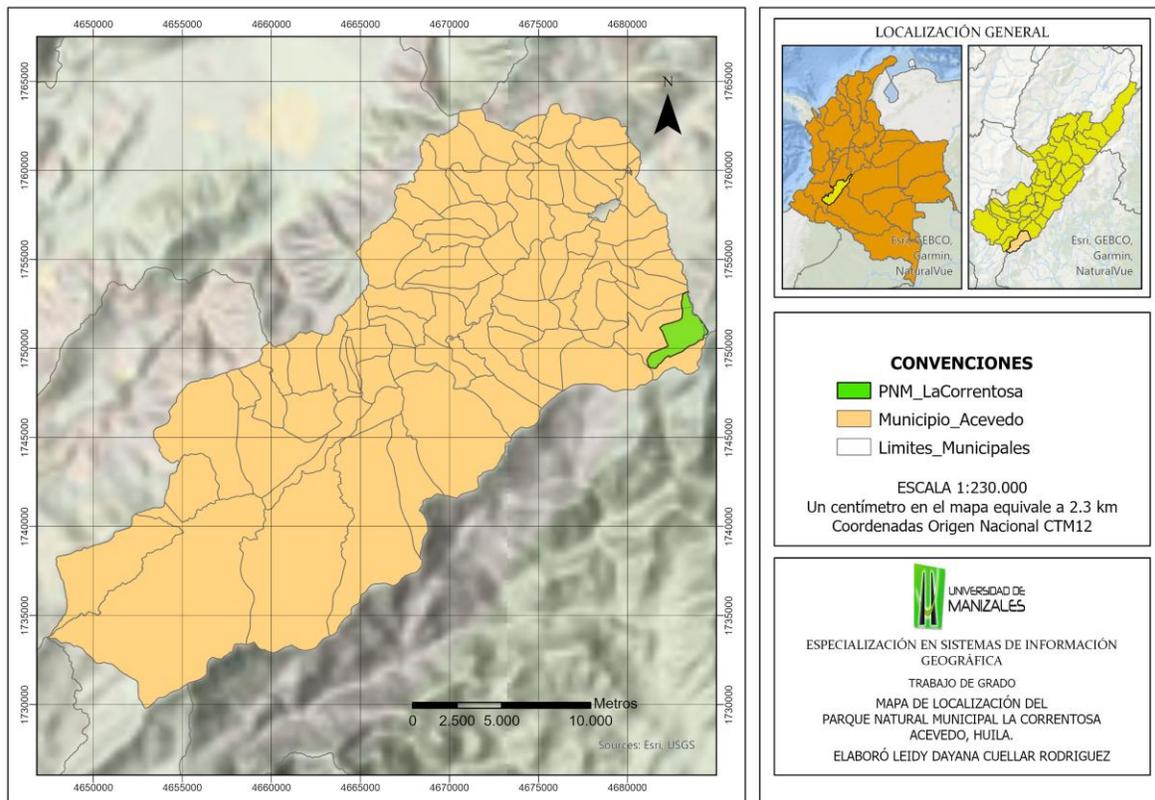
Fase 1. Identificación De Las Coberturas Vegetales Existentes En El Parque Municipal Natural En Los Periodos 2000, 2017 y 2023.

Actividad 1: Recolección Y Análisis De Información. Se visitó entidades gubernamentales encargadas del manejo y conservación del PNM la correntosa, tales como, la alcaldía municipal; empresas públicas de Acevedo-EMPACEDVEDO; la corporación autónoma regional del alto magdalena-CAM y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, para obtener información que sirvió como insumo para establecer las coberturas del PNM.

Actividad 2: Ubicación PNM La correntosa. El PNM La Correntosa corresponde a la zona rural del municipio de Acevedo, ubicado al Suroriente del Departamento del Huila, en dicha ubicación se analizó la expansión la frontera agrícola del municipio, la figura 1 muestra la ubicación geográfica a nivel nacional, departamental y municipal del PNM La Correntosa.

Figura 1.

Localización área de estudio



El PNM La Correntosa se ubica en las veredas Recreo, San José De Llanitos, San José de las minas y Bolívar, veredas que se encuentran en las estribaciones de la cordillera oriental. Debido a esta ubicación el PNM presenta una altura máxima de 2.200 msnm donde se ubica el cerro la Correntosa y nace la Quebrada la correntosa, por el cual se le atribuye el nombre al PNM. Según CAM (2010) las veredas que conforman el PNM presentan precipitaciones de clima muy húmedo que oscilan entre los 2000 y 4000 mm y según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (2016) las máximas precipitaciones en el municipio ocurren de abril, mayo y junio y de septiembre, octubre y noviembre y la época de escasa precipitación durante los meses de enero y de junio a agosto. Dichos factores climáticos se tuvieron en cuenta para la búsqueda y selección de las imágenes.

Una vez identificada el PNM se creó un área de influencia de 500 metros con la herramienta Pairwise Buffer la cual se menciona a continuación su ruta de acceso.

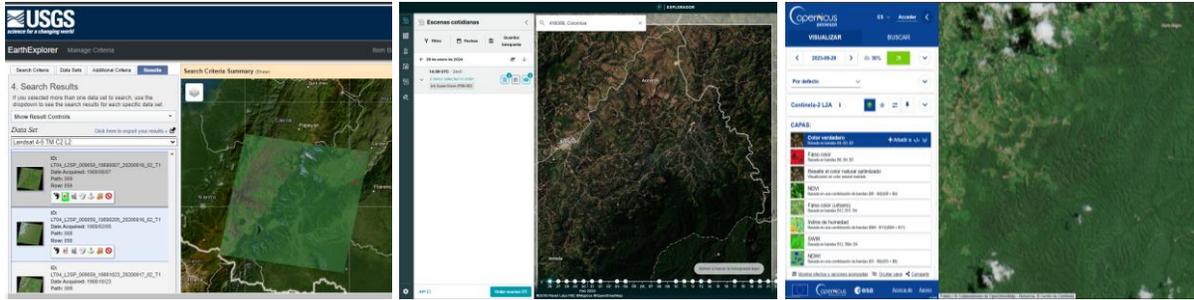
- *Analysis → tool → Toolboxes → Analysis Tools → Pairwise Overlay → Pairwise Buffer*

En este caso, se decidió realizar un área de influencia de 500 metros proporcional al área del PNM, sin embargo, según Domínguez Cervantes, 2009, para delimitar un área de influencia se tiene en cuenta los límites de los municipios y cuencas, los límites físico-bióticos y antrópicos y la caracterización social. Lo cual se requiere un trabajo con equipo técnico y tecnológico para definir dichas zonas.

Actividad 3. Búsqueda Y Descarga De Imágenes Satelitales. Se realizó la búsqueda de las imágenes satelitales en diferentes portales, tales como, el portal Earth Explorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS); Planet Scope y Copernicus Browser de la Agencia Espacial Europea (ESA). Esto con el fin de encontrar las imágenes con menor porcentaje de nubosidad en tres temporalidades, ya que el parque por su ubicación geográfica presenta un clima con bastante precipitaciones y nubosidad. En la figura 2. Se observan los diferentes portales usados, cabe resaltar que se realizó la respectiva creación de usuarios, para acceder a las diferentes imágenes satelitales.

Figura 2.

Portal de Earth Explore, Planet Scope y Copernicus Browser.



Nota: tomado de la página web del USGS y la ESA.

La temporalidad para realizar el análisis multitemporal se definió bajo dos criterios: primero, la menor nubosidad en el área de estudio; y dos, la primer temporalidad debía ser o estar cerca al año 2005, ya que en este año se declaró el área como PNM, esto con el fin de observar sus coberturas antes de ser área protegida, la siguiente temporalidad debía ser o estar cerca al año 2015, ya que en este año se amplió el área de PNM y la última temporalidad debía ser del año actual 2024 para observar sus coberturas actualmente.

Actividad 4. Procesamiento Digital De Las Imágenes Satelitales. Debido a que el área de estudio se encuentra contenido en una parte de la escena de las imágenes satelitales no se hace necesario la corrección por corrimiento entre empalmes por el uso de otras imágenes para crear mosaico y análisis de esta. De igual manera no se hace necesario realizar preprocesamiento de las imágenes, ya que el USGS y la ESA realizan un procesamiento inicial de los datos crudos para corregir las distorsiones radiométricas y geométricas de las imágenes, por lo tanto, en la búsqueda de las imágenes se seleccionaron en la modalidad collection 2 level-2 en el caso de landsat 7, level L2A en el caso de Sentinel 2 y level 3B en el caso de Planet Scope, las cuales ya tienen las correcciones Atmosféricas como reflectancia en la superficie.

Actividad 4.1 Reproyección de Coordenadas Y Recorte Área De Estudio. Una vez descargadas las imágenes, se suben las imágenes multiespectrales al software de ArcGIS Pro para realizar el respectivo procesamiento de cada imagen. En la figura 3 se visualiza las herramientas utilizadas para los respectivos procesos. En primer lugar, se realizó la Reproyección del sistema de coordenadas de las imágenes en WGS 84 al Sistema de Coordenadas utilizado para Colombia Origen Nacional CTM12, mediante la herramienta Project Ráster, la cual se nombra a continuación su ruta de acceso.

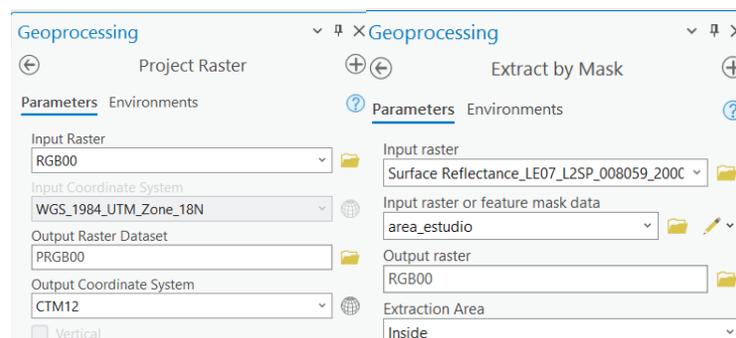
- *Analysis → tool → Toolboxes → Data Management Tools → Projections and Transformations → Raster → Project raster*

En segundo lugar, se realizó el recorte de las imágenes con el polígono área de estudio ya que en el caso de las imágenes Landsat y sentinel abarcan un gran número de hectáreas de cobertura, lo que significa que el tamaño del archivo sea muy pesado. La herramienta para dicha actividad fue Extract by Mask, la cual se nombra a continuación su ruta de acceso.

- *Analysis → tool → Toolboxes → Spatial Analysis Tools → Extraction → Extract by Mask*

Figura 3.

Project raster y Extract By mask



Actividad 4.2 Realces De Las Imágenes. Debido a que el área de estudio se encuentra en una zona boscosa se hace difícil identificar las diferentes coberturas, por lo tanto, para visualizar las coberturas se realizaron diferentes realces. En la figura 4 se visualizan las herramientas utilizadas en cada realce.

Actividad 4.2.1 Combinaciones De Bandas. Las imágenes multiespectrales de alta resolución como el caso de Sentinel 2 y Planet Scope tienen como insumo solo las bandas Blue, Green, Red y Near Infraeod Reflectance (NIR), por lo tanto, se realizó la combinación en falso color infrarrojo (NIR+Red+Green) ya que la banda infrarrojo cercano es de gran utilidad para identificar las variaciones de la vegetación por la gama de colores que van desde el color rojo oscuro que identifica bosque hasta el rosado pálido que identifica cultivos, pastos y suelos desnudos (Esri, 2023). De igual manera se realizó la combinación de bandas en color natural (Red+Green+Blue) ya que se aproxima a los colores reales y de esta manera confirmar las coberturas que se identifican en la combinación de falso color.

Actividad 4.2.2 Análisis De Componentes Principales (PCA). Se realizó el análisis de componentes principales a cada imagen multiespectral, para identificar posibles variables que no habían sido observadas antes y que están generando variabilidad en los datos, esta técnica permite que las variables originales puedan ser transformadas de un sistema correlacionado de datos, a uno que contiene variables que no guardan correlación entre sí y que permite una mejor interpretación de los datos (Ramos Organillo, 2020). a continuación, se nombra su ruta de acceso:

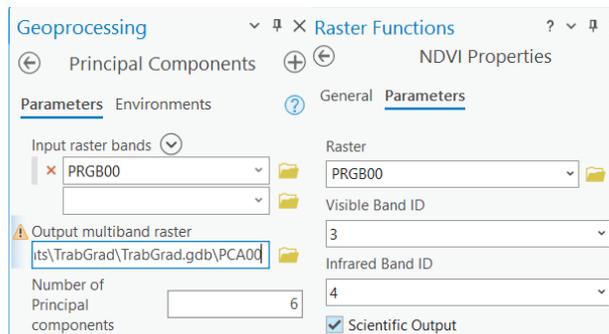
- *Analysis* → *tool* → *Toolboxes* → *Spatial Analysis Tools* → *Multivariate* → *Principal components*

Actividad 4.2.3 Índice de Vegetación De Diferencia Normalizada (NDVI). Se le calculó a cada imagen multiespectral el índice NDVI, este se basa en la comparación de la cantidad de luz reflejada en el visible rojo y el infrarrojo cercano (Olivares & Lopez Beltran, 2019). A continuación, se nombra su ruta de acceso:

- *Imagery* → *Raster Functions* → *Analysis* → *NDVI*

Figura 4.

Herramienta Principal Components e Índice NDVI



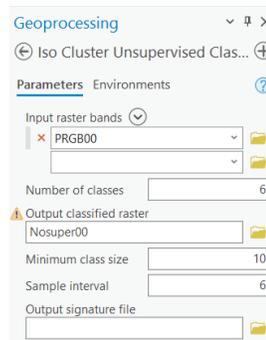
Actividad 4.3 Clasificación No Supervisada. El primer método seleccionado para realizar la clasificación de las coberturas vegetales existentes es el método de clasificación no supervisada “aprendizaje no supervisado o técnicas de agrupamiento (clustering)”, debido a que no existe conocimiento previo del área de estudio y de los tipos de coberturas, pues esta clasificación se aplica con no hay conocimiento previo (Macedo Cruz y otros, 2010), en la figura

5 se observa la herramienta Iso Cluster Unsupervised Classification y a continuación se nombra la ruta de acceso.

- *Analysis* → *tool* → *Toolboxes* → *Spatial Analysis Tools* → *Multivariate* → *Iso Cluster Unsupervised Classification*

Figura 5.

Herramienta Iso Clúster Unsupervised Classification



Actividad 4.4 Clasificación Supervisada. La clasificación supervisada y no supervisada permite explorar diferentes tipos de atributos o clases por medio del análisis estadístico multivariado, este proceso identifica los valores de cada píxel de una o varias bandas de una imagen Ráster, crea y evalúa las clases, finalmente reclasifica de acuerdo con las probabilidades de cada clase (ESRI, 2024). En la figura 6 se observar las herramientas utilizadas para realizar la clasificación supervisada.

Actividad 4.4.1 Muestras De Entrenamiento Y Firmas Espectrales. Se realizó las muestras de entrenamiento con la herramienta Create Feature Class con geometría de puntos,

una vez establecido el muestreo de las clases identificadas, se procedió a crear las firmas espectrales con la herramienta Create Signature, este es un proceso que agrupa los píxeles en un número finito de clases individuales, con base en los niveles digitales de la imagen satelital, para identificar los diferentes tipos de coberturas (ESRI, 2024). A continuación, se nombra la ruta de acceso.

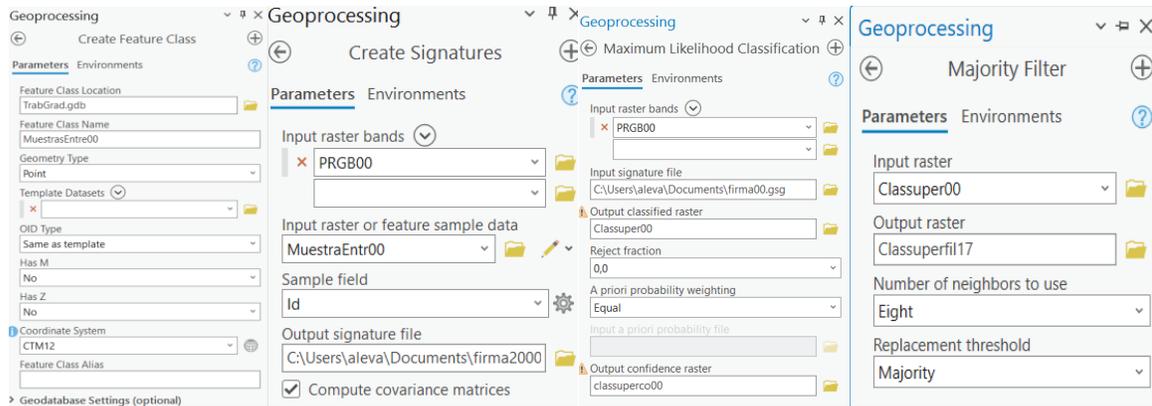
- *Edit → Features → Create*
- *Analysis → tool → Toolboxes → Spatial Analysis Tools → Multivariate → Create Signatures*

Actividad 4.4.2 Maxima Probabilidad. Para la clasificación final de las coberturas se eligió el método de máxima probabilidad, el cual asume que los datos siguen una función de distribución normal para asignar la probabilidad de que un píxel cualquiera pertenezca a cada una de las clases. El píxel se asigna de este modo a la clase a la que es más probable que pertenezca (ESRI, 2024). A continuación, se nombra la ruta de acceso.

- *Analysis → tool → Toolboxes → Spatial Analysis Tools → Multivariate → Maximum Likelihood Classification*

Actividad 4.4.3 Filtro Mayoría. Se aplicó la herramienta Majority Filter para corregir errores de ruido como el efecto sal y pimienta, la herramienta reemplaza las celdas en el valor mayoritario de las vecindades contigua, a continuación, se nombra la ruta de acceso.

- *Analysis → tool → Toolboxes → Spatial Analysis Tools → Generalization → Majority Filter*

Figura 6.*Herramientas utilizadas para la clasificación supervisada*

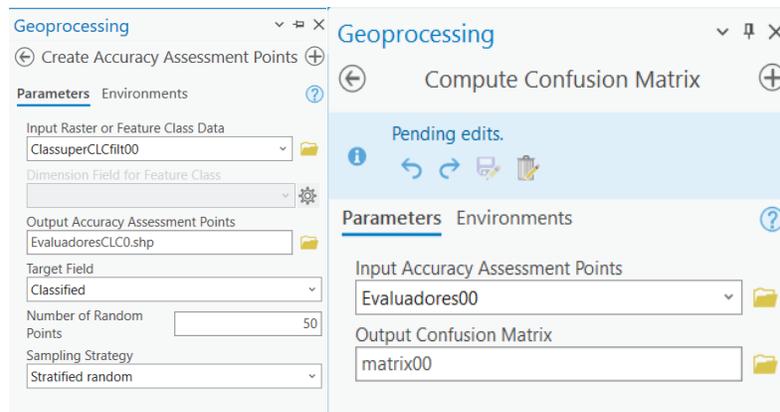
Actividad 4.5 Control De Calidad. Se verificó los ráster resultante de la clasificación supervisada con respecto a la imagen multiespectral que se utilizó para crear las firmas espectrales. Este control consiste en cargar las dos imágenes en un mismo espacio de trabajo, comparando que los tipos de cobertura resultantes correspondan con la imagen multiespectral.

Actividad 4.6 Evaluación Y Validación De La Clasificación Supervisada. Se realizó la validación de las clasificaciones supervisadas mediante los puntos de evaluación de precisión que se crearon con la herramienta “Create Accuracy Assessment Points”, una vez ejecutados se crea la matriz de confusión con la herramienta “Compute Consusion Matrix” la cual es basada en errores de omisión y comisión de la clasificación supervisada y las muestras de entrenamiento (ESRI, 2024), en la figura 7 se observa las herramientas mencionadas y a continuación se nombra las rutas de acceso a cada herramienta.

- *Analysis → tool → Toolboxes → Spatial Analysis Tools → Segmentation and Classification → Create Accuracy Assessment Points*
- *Analysis → tool → Toolboxes → Spatial Analysis Tools → Segmentation and Classification → Compute Confusion Matrix*

Figura 7.

Herramientas Create Accuracy Assessment Points Y Compute Confusion Matrix



Fase 2. Implementación De La Metodología Corine Land Cover Adaptada Para Colombia En El Parque Municipal Natural Para Los Periodos 2000, 2017 Y 2023.

En esta fase se homogenizó las coberturas existentes identificadas en el parque y se adaptaron a la metodología Corine Land Cover (MCLC) establecida para Colombia por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). La metodología usa una leyenda jerárquica con categorías que permiten agregar datos a nivel nacional, o desagregarlo para trabajar en áreas específicas a diferentes escalas menores a 1:100.000 (IDEAM, 2010). Para el desarrollo de esta investigación se usó la leyenda hasta un tercer nivel, coherente con la escala del área de estudio 1:35.000.

Actividad 1. Adaptación De La Leyenda De La MCLC. Una vez identificada la leyenda según la MCLC para adaptarlas a las coberturas vegetales identificadas en la fase anterior, se homogenizaron las muestras de entrenamiento para generar nuevas firmas espectrales y a su vez realizar la clasificación supervisada con la leyenda adaptada a la MCLC. De igual manera se aplicó el filtro mayoría para corregir los errores de ruido del efecto sal y pimienta y obtener una mejor visualización de los resultados.

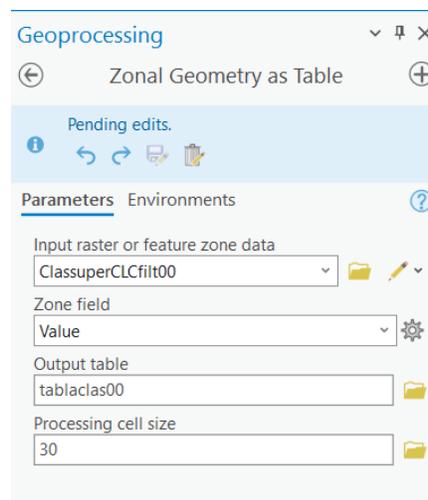
Con la implementación de la herramienta “Zonal geometry As Table” se realiza el cálculo de las áreas de las coberturas vegetales existentes. Cabe resaltar que con el uso de esta herramienta no se hace necesario convertir los ráster clasificados a vector para realizar los

cálculos mencionados. Seguidamente se realizaron las estadísticas para obtener una mejor interpretación, a continuación de nombra la ruta de acceso.

- *Analysis → tool → Toolboxes → Spatial Analysis Tools → Zonal → Zonal Geometry Table*

Figura 8.

Herramienta Para Calcular El Área De Las Coberturas Vegetales



Actividad 2. Control De Calidad, Evaluación Y Validación De La Clasificación

Supervisada. De la misma manera que se realizó en la fase anterior, se realizó el control de calidad y verificación de la clasificación supervisada con la leyenda adaptada a la MCLC.

Fase 3. Evaluación Del Cambio En Las Coberturas Vegetales Y Su Impacto En El Parque Municipal Natural Para Los Periodos 2000, 2017 Y 2023.

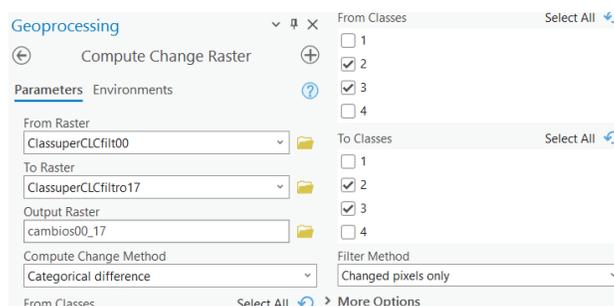
En esta fase, se realizó la evaluación de la dinámica de ampliación de la frontera agrícola en el área de estudio identificando los cambios de las coberturas en los periodos establecidos. En la Figura 8 se visualiza la herramienta utilizada para detectar cambios en las coberturas.

Actividad 1. Identificación De Los Cambios De Coberturas. La identificación de cambios en el área de estudio en los diferentes periodos se realizó primeramente a nivel visual a través de una salida grafica generada por la herramienta “Compute Change Ráster”, en la cual se pudo omitir las clases de las nubes y sombras, ya que son factores no relevantes en el análisis multitemporal, a continuación, se nombra la ruta de acceso.

- *Analysis → tool → Toolboxes → Image analyst Tools → Change Detection → Compute Change Raster*

Figura 9.

Herramienta Para Detector Cambios En Las Coberturas Vegetales



Resultados

Identificación De Las Coberturas Vegetales Existentes

Recolección Y Análisis De La Información

Se recolectó información tal como el plan básico de ordenamiento territorial del municipio de Acevedo-PBOT con la alcaldía municipal, el acuerdo 01 de 2005 declaratoria del PNM e información cartográfica del PNM con la Corporación Autónoma Regional Del Alto Magdalena-CAM, en dicha información se obtuvo el polígono que delimita el PNM ya que es uno de los insumos principales del presente estudio. Se recolectó, además, todo tipo de información bibliográfica referente a Sistemas de Información Geográfica, Teledetección y la Metodología Corine Land Cover-MCLC adaptada para Colombia.

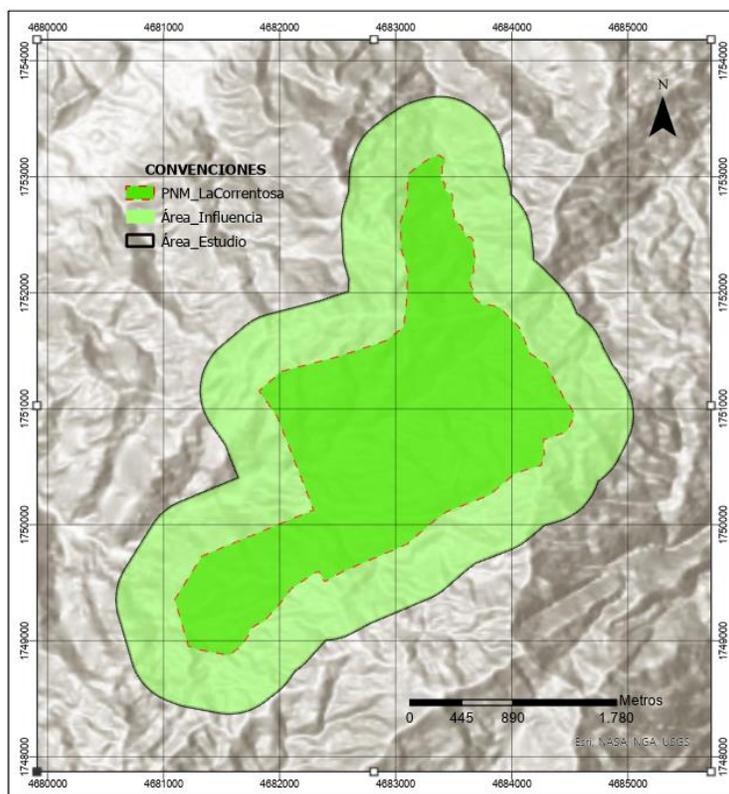
Definición Área De Estudio

Con el polígono que delimita el área del PNM La Correntosa se creó un área de influencia de 500 metros que se define como el área de estudio del presente proyecto como se observa en la figura 10. Dicho polígono tiene unas coordenadas planas de Origen Nacional CTM12, coordenada a la izquierda 4.680.589 m; a la derecha 4.685.037 m; arriba 1.753.682 m y abajo

1.748.370 m. Es de resaltar que, el área de estudio abarcó 1.242 hectáreas, donde 589 hectáreas pertenecen al PNM y 653 hectáreas a el área de influencia.

Figura 10.

Polígono área de estudio.



Las zonas de influencia de las áreas naturales protegidas son de gran importancia, ya que estas zonas experimentan cambios asociados a las intensas actividades relacionadas primordialmente con el sector primario, la industria y los servicios, lo que propicia que dentro y fuera de las áreas protegidas se generen problemas ambientales, como incendios forestales, deforestación, problemas de azolvamiento y pérdida de la cubierta superficial del suelo, entre otros, y que interrumpen la conectividad de los ecosistemas y su biodiversidad (Domínguez Cervantes, 2009).

Búsqueda y Descarga De Imágenes Satelitales

Se seleccionaron y descargaron las imágenes de la temporalidad 2000, 2017 y 2023 de diferentes satélites y por ende, sensores y resoluciones, debido a que el área de estudio permanentemente cuenta con mucha nubosidad no fue posible realizar el estudio bajo la misma resolución para las tres imágenes, sin embargo, para la clasificación de las coberturas es importante la resolución espectral y los tres sensores en sus bandas RGB y NIR tienen los rangos espectrales con diferencia mínima, por lo que no se hace necesario interpolar, de igual manera, la resolución espectral define el nivel de la metodología Corine Land Cover a trabajar. En la tabla 6 se registra las tres imágenes descargadas con su temporalidad e información importante para realizar el procesamiento de estas, como lo es el tipo de sensor y las resoluciones espectral, espacial, radiométrica y temporal.

Tabla 6.

Imágenes Descargadas

Año	Referencia	Satélite y sensor	Resolución espectral y espacial	Resolución radiométrica y temporal
2000	"LE07_L2 SP_008059 _20000830 _20200917 _02_T1"	Landsat 7 Sensor enhance dThema ticPlus ETM+	Banda 1 visible Azul (0.45 – 0.52 μm)-30m	16 bits
			Banda 2 visible Verde (0.53 – 0.61 μm) -30m	16 días
			Banda 3 visible Roja (0.63 – 0.69 μm) -30m	
			Banda 4 Infrarrojo cercano (0.78 – 0.90 μm) -60m	
			Banda 5 Infrarrojos onda corta (1.55-1.75 μm)- 60m	
			Banda 6 Infrarrojo térmica (10.4 – 12.5 μm) -60m	
			Banda 7 Infrarrojo medio (2.08 – 2.35 μm)-60m	
			Banda 8 Pancromático (0.52 – 0.90 μm) -15m	
2017	"20170920 _161941_1 048_3B_A	Planet- SuperD ove	Banda 1: Azul costero (0.43 – 0.45 μm) – 3m	12 bits
			Banda 2: Azul: (0.46 – 0.51 μm) – 3m	1 día
			Banda 3: Verde I: (0.51 – 0.54 μm) – 3m	
			Banda 4: Verde: (0.54 – 0.58 μm) – 3m	

	nalyticMS_ SR"	PSB.SD	Banda 5: Amarillo: (0.60 - 0.62 μm) – 3m Banda 6 :Rojo: (0.65 – 0.68 nm) – 3m Banda 7: Borde rojo: (0.69 – 0.71 μm) – 3m Bando 8: NIR: (0.84 – 0.88 μm) – 3m	
2023	“S2B_MSI L2A_2023 0826T1526 39_N0509 _R025_T1 8NVG_202 30826T205 820.SAFE”	Sentinel 2 Sensor Multispe ctral Instrume nt (MSI)	Banda 1: Aerosol (0.43- 0.45 μm) – 60 m Banda 2: Blue (0.45- 0.52 μm) – 10 m Banda 3: Green (0.54-0.57 μm) - 10 m Banda 4: Red (0.65-0.68 μm) - 10 m Banda 5: Red Edge 1 (0.69-0.71 μm) - 20 m Banda 6: Red Edge 2 (0.73-0.74 μm) - 20 m Banda 7: Red Edge 3 (0.77-0.79 μm) - 20 m Banda 8: NIR 1 (0.78-0.90 μm) - 10 m Banda 8A: NIR 2 (0.85-0.87 μm) - 20 m Band 9: Water Vapour(0.93-0.95 μm)-60 m Banda 10: Cirrus (1.36-1.39 μm) - 60 m Banda 11: Swir 1 (1.56-1.65 μm) - 20 m Banda 12: Swir 2 (2.10-2.28 μm) - 20 m	12-16 bits 5-10 días

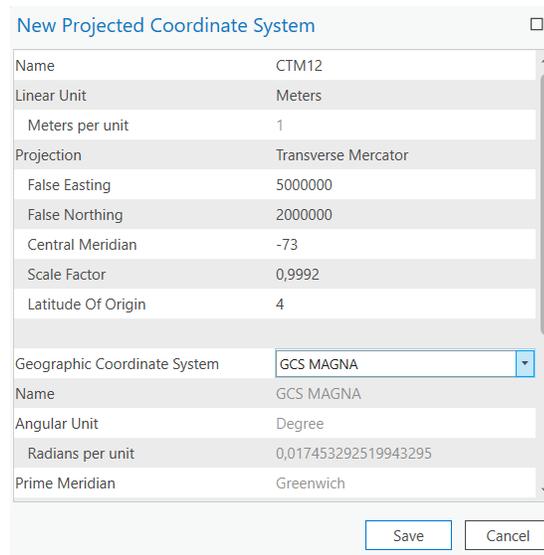
Procesamiento Digital De Las Imágenes Satelitales

El procesamiento digital de las imágenes satelitales se realizó con la herramienta SIG ArcGIS Pro, ya que es un software que proporciona las herramientas avanzadas para el análisis espacial multivariado y detección de cambios.

Reproyección De Coordenadas Y Recorte Área De Estudio. Se reproyectó las imágenes satelitales hacia el sistema de coordenadas planas Colombia, magna sirgas origen nacional CMT 12, en la Figura 11 se visualiza la creación de sistema CTM 12 en el software, ya que no lo trae incorporado.

Figura 11.

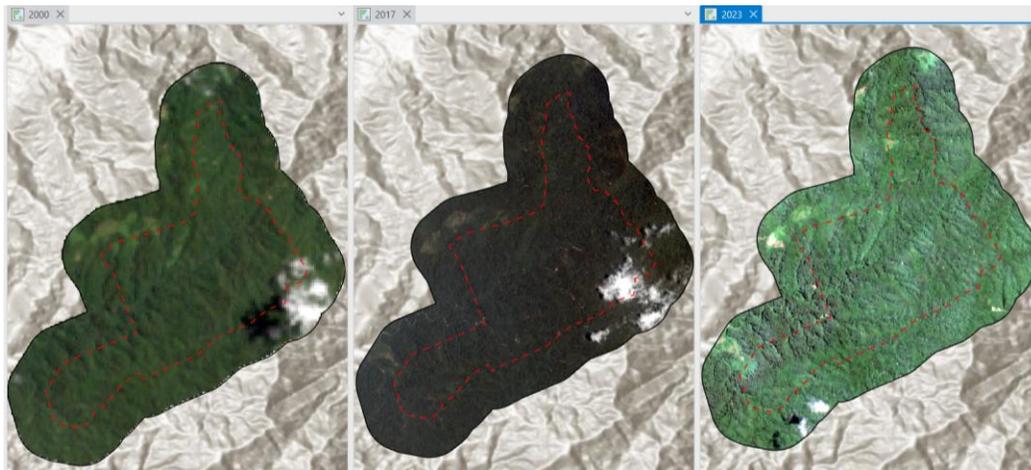
Creación Sistema De Coordenadas Origen Nacional CTM 12



En la figura 12 se observa las imágenes multiespectrales en color natural con el recorte del área de estudio y delimitando el área del PNM, de izquierda a derecha se ubica la imagen del año 2000, 2017 y 2023.

Figura 12.

Recorte de Las Imágenes Multiespectrales



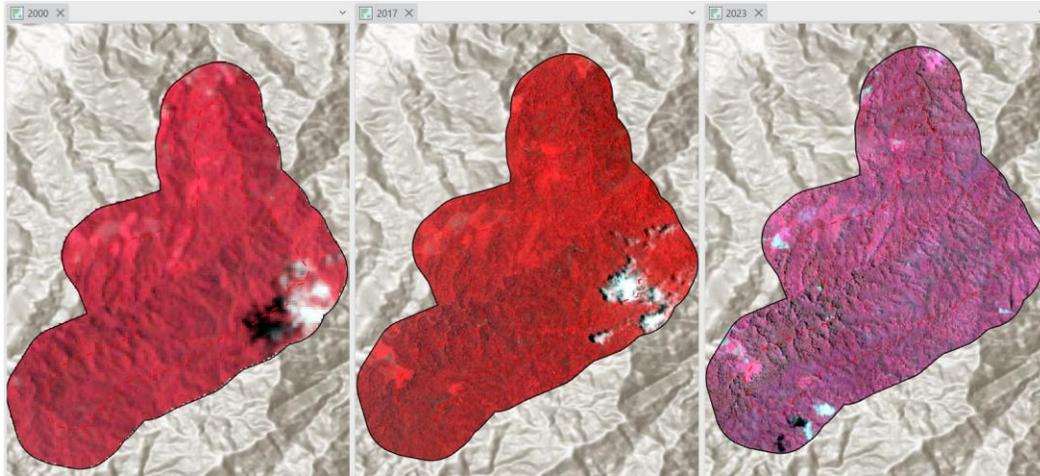
Realce De Las Imágenes. Las imágenes multispectrales descargadas ya en niveles de reflectancia de la superficie se componen de las cuatro bandas con la mejor resolución, bajo este criterio la imagen landsat 7 del año 2000 quedó con una resolución de 30 metros, la imagen Planet del año 2017 quedó con una resolución de 3 metros y la imagen sentinel 2 quedó con una resolución de 10 metros. Sin embargo, debido a la densidad de la cobertura boscosa se realizaron diferentes realces como combinación de bandas en color natural y falso color, análisis de componentes principales y el índice de vegetación diferenciada mejorada, con los cuales se logró tener más detalle e identificar coberturas diferentes al bosque denso.

Combinación De Banda. La figura anterior se visualiza en la combinación a color natural, a simple vista se observa la diferencia de brillo y resolución en las tres imágenes, sin embargo, se logra identificar coberturas como bosque denso, pastos, suelos desnudos, dos casas en la imagen del 2023 y la quebrada La Tijiña en la imagen del 2017 que se confunde con una vía rural.

La combinación en falso color de infrarrojos permitió identificar y confirmar las coberturas observadas en la combinación a color natural, sin embargo, por sus tonalidades rojas oscuras se destaca más el bosque denso y las tonalidades en rojo claro a rosado se destaca más los pastos, En la figura 13 se observa la combinación en infrarrojo.

Figura 13.

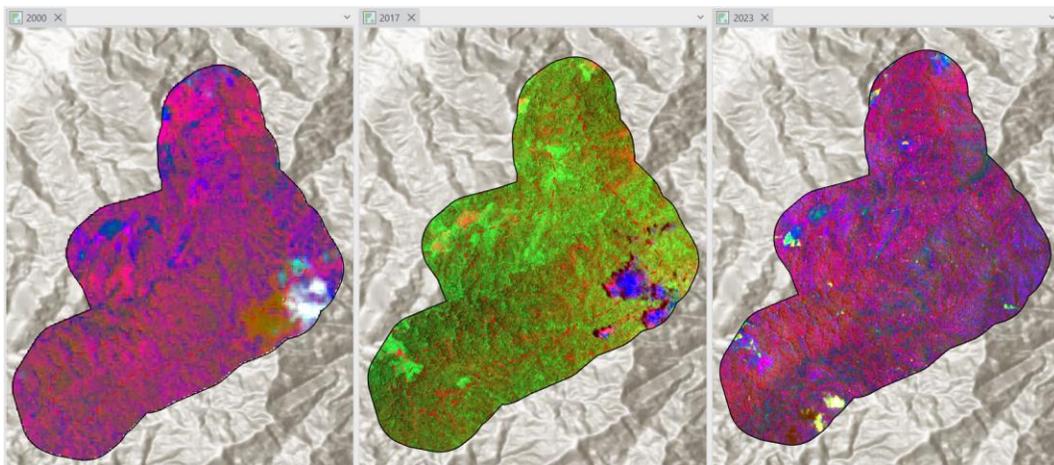
Combinación en falso color Infrarrojos



Análisis De Principales Componentes. En la figura 14 se logra visualizar los principales componentes de cada imagen, con este realce se define más las coberturas y el detalle de las mismas, por lo que se confirma las coberturas identificadas con los realces anteriores y se identifica otras coberturas como lo son los cuerpos de agua como La Quebrada La Tijiña y algunos de sus afluentes, y deslizamientos que se confunden con suelo desnudo.

Figura 14.

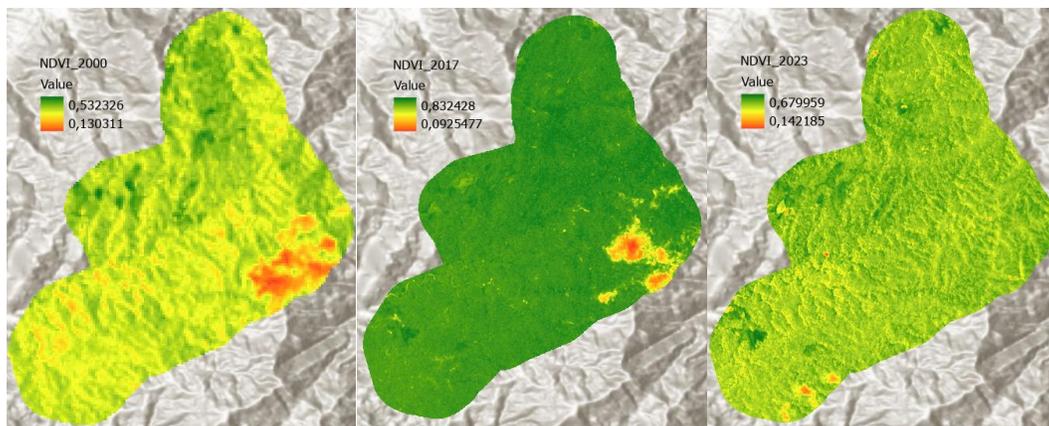
Análisis De Componentes Principales



Índice De Vegetación De Diferencia Normalizada. El índice NVDI para las tres imágenes tienen diferentes rangos en los valores, esto puede ser por el diferente tamaño de pixel de cada imagen. Para la imagen del año 2000 arrojó valores entre 0.1 a 0.5, para la imagen del 2017 entre 0.09 a 0.8 y para la imagen del año 2023 entre el 0.1 a 0.6. Lo cual confirma las coberturas vegetales ya identificadas con los realces anteriores. En la imagen del 2017 el índice indica coberturas con vegetación muy densa, seguido del año 2023 y en la imagen del 2000 indica menos vegetación densa. Los valores cercanos a 0 y 0.1 en las tres imágenes indican las nubes, sombras y cuerpos de agua. En la Figura 15 se observa los índices NDVI de las tres temporalidades.

Figura 15.

Índice De Vegetación De Diferencia Normalizada

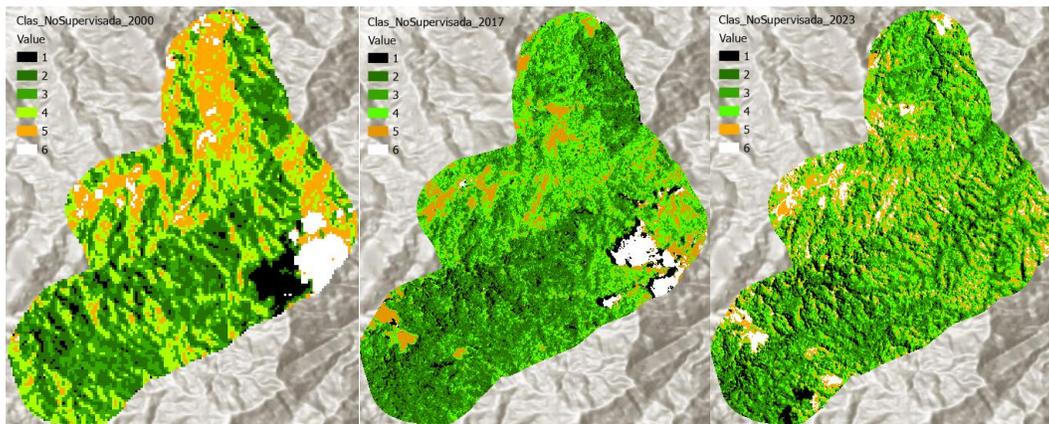


Clasificación No Supervisada. La clasificación no supervisada se realizó con seis clases en cada temporalidad, ésta permitió tener más claridad de las coberturas ya identificadas debido a que clasifica las coberturas por sus niveles de reflectancia, en la clase uno se identifica las

sombras de las nubes y de la vegetación densa que marca el cauce de los cuerpos de agua, la clase dos se identifica la vegetación densa, la clase tres como la vegetación con menos densidad, la clase cuatro vegetación sin densidad, la clase cinco como pastos y la clase seis como los suelos desnudos las dos casas identificadas y las nubes. En la figura 16 se visualiza la clasificación no supervisada, arrojada por el software.

Figura 16.

Clasificación NO Supervisada



Clasificación Supervisada. Con las coberturas vegetales existentes ya identificadas gracias a los reales y la clasificación no supervisada se definió las siguientes clases: Sombras, Bosque Denso, Bosque, Pastos, Quebradas, Suelos Desnudos, Casas y Nubes, cabe resaltar que para la imagen del año 2000 no se identificó la clase Quebradas debido a la resolución y a que la densidad de los bosques tapa los cuerpos de agua, y no se identificó la clase Casas debido a que en esa temporalidad no existían.

Muestras De Entrenamiento Y Firmas Espectrales. Se realizó las muestras de entrenamiento o semilleo de las ocho clases definidas, usando los diferentes realces y la clasificación no supervisada como guía para el semilleo, en la figura 17 se observa el ejemplo del semilleo para la clase Nubes del año 2000 usando los realces, en la figura 18 se observa el semilleo de todas la clases en las tres imágenes y en la figura 19 se observa la firma espectral generada en este caso para la clase Nubes del año 2000, donde se evidencia su pico de reflectancia en la banda 4 o de Infrarrojo cercano con longitudes de onda entre $0.78 - 0.90 \mu\text{m}$.

Figura 17.

Muestras De Entrenamiento Usando Los Diferentes Realces

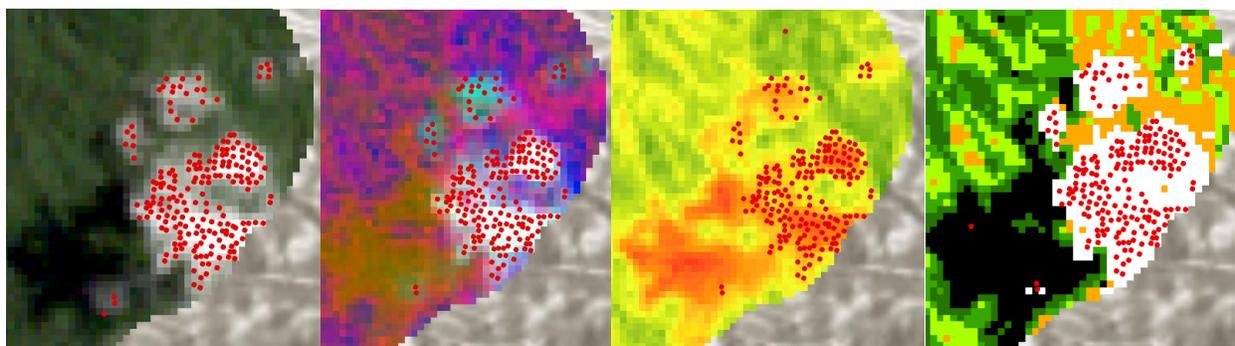


Figura 18.

Muestras de Entrenamiento De Las Temporalidades 2000, 2017 y 2023

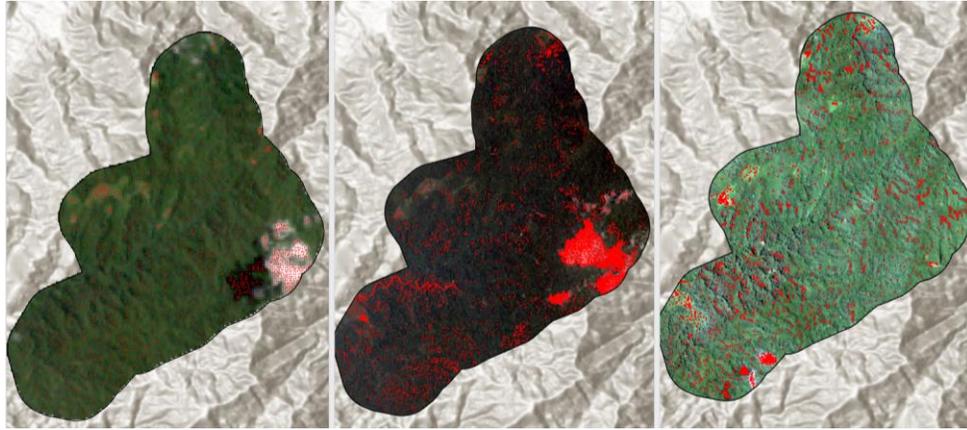
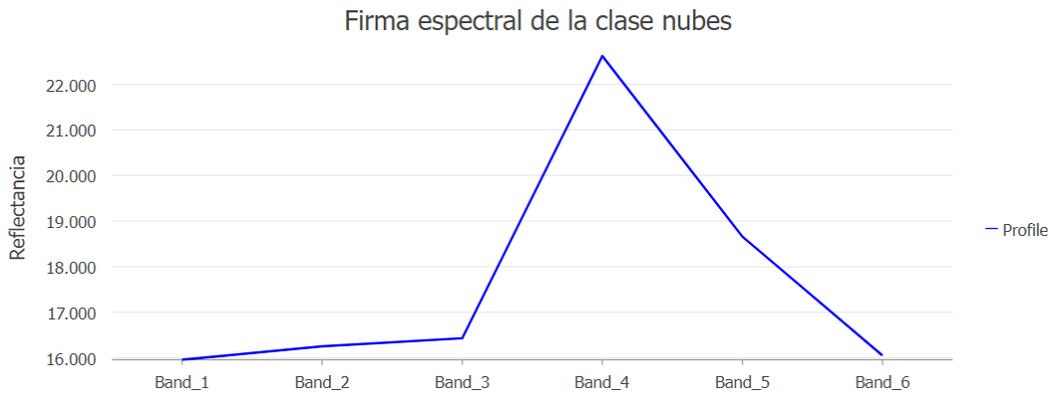


Figura 19.

Firma espectral



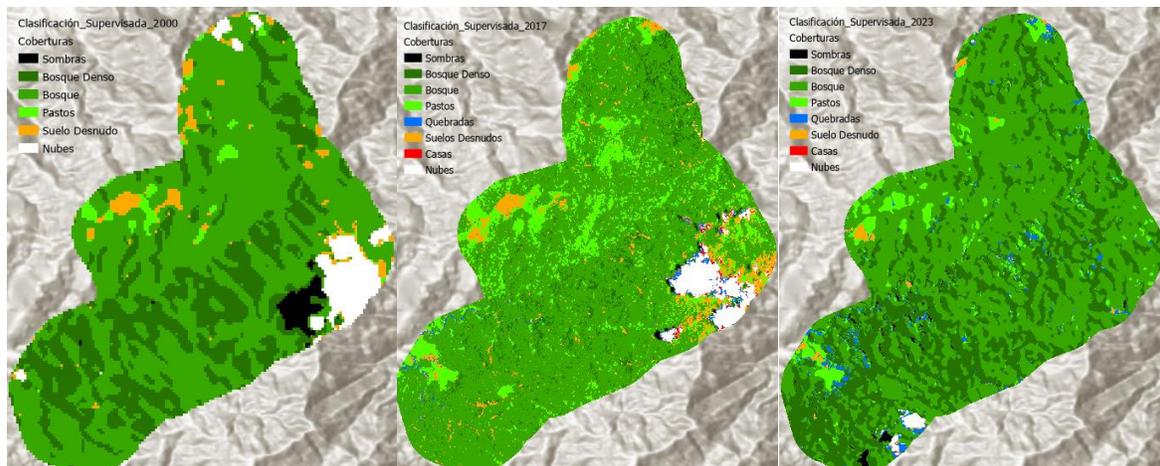
Máxima Verosimilitud Y Filtro Mayoría. Con el método máxima verosimilitud de la clasificación supervisada y el filtro mayoría aplicado, se identificaron las coberturas vegetales existentes en el PNM La Correntosa para las tres temporalidades, se encontró que, la cobertura de Bosque Denso disminuyó por la cobertura Bosque del año 2000 a 2017, sin embargo, para el año 2023 aumenta la cobertura Bosque Denso nuevamente. La cobertura Pasto aumentó del año

2000 a 2017 disminuyendo la cobertura Bosque, sin embargo, para el año 2023 disminuyó la cobertura Pasto recuperándose la cobertura Bosque. El mismo comportamiento presenta la cobertura suelos desnudos, donde aumentó del año 2000 a 2017 disminuyendo la cobertura Pastos y para el año 2023 disminuye la cobertura Suelos Desnudos y aumenta la cobertura Pastos y Bosque.

Las coberturas Quebradas y Casas del año 2017 al 2023 se mantienen. Cabe resaltar que las coberturas Nubes y Sombras se clasifican porque ocupan área sobre las coberturas, pero se convierten en coberturas sin información, por lo tanto, son factores no relevantes en el análisis multitemporal y la detección de cambios. En la figura 20 y en el anexo I se observa la salida gráfica de la clasificación supervisada de las coberturas vegetales existentes del PNM la correntosa con el filtro mayoría aplicado.

Figura 20.

Clasificación Supervisada De Las Coberturas Vegetales Existentes

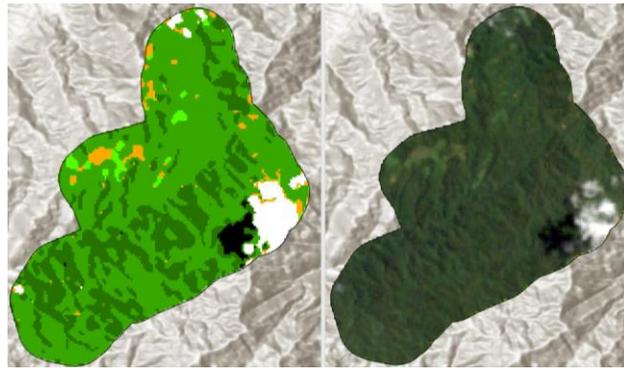


Control De Calidad. Comparando las coberturas vegetales existentes arrojadas por la clasificación supervisada y las que se observan en las imágenes multiespectrales a color natural, se observa que la mayoría de las coberturas coinciden, lo cual indica una clasificación de calidad.

En el año 2000 las coberturas nubes, sombras, pastos, Bosque y Bosque Denso coinciden exactamente, sin embargo, los suelos desnudos no coinciden en el área donde están las nubes, ya que pixeles de las nubes fueron tomados como suelos desnudos por sus niveles de reflectancia. En la figura 21 se puede observar la comparación entre los dos ráster de esta temporalidad.

Figura 21.

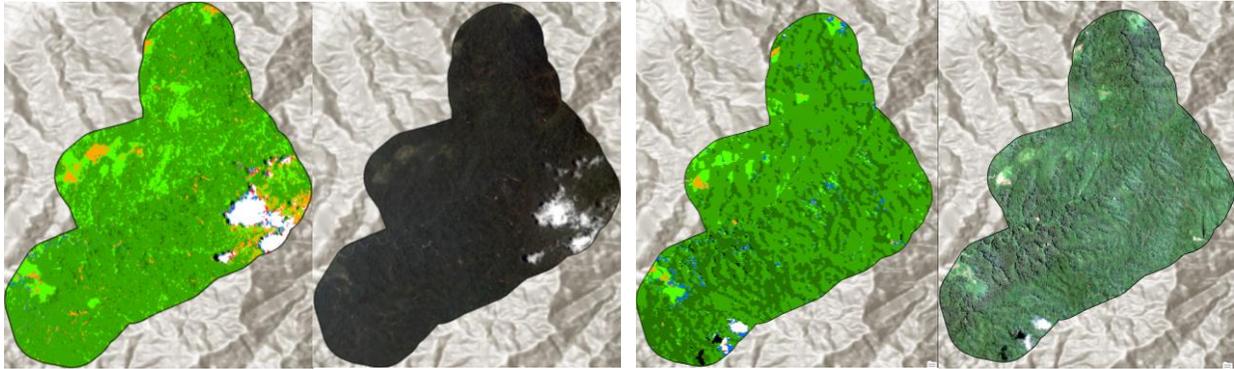
Control De Calidad De La Clasificación Supervisada Año 2000



En el año 2017 y 2023 las coberturas Nubes, Sombras, Pastos, Bosque y Bosque Denso coinciden exactamente, sin embargo, en la imagen del 2017 al igual que el año 2000 los Suelos Desnudos, Quebradas y Casas no coinciden en el área donde están las nubes, y en la imagen del 2023 no coincide algunas zonas de la cobertura Quebradas, se confunde con zonas de bosque denso, esto debido a que estas dos coberturas son las que tienen menor nivel de reflectancia. En la figura 22 se puede observar la comparación entre los dos ráster de la temporalidad 2017 y 2023.

Figura 22.

Control De Calidad De La Clasificación Supervisada Año 2017 y 2023



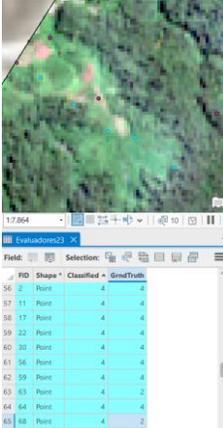
Evaluación Y Verificación De La Clasificación Supervisada. En la figura 23 se observa los puntos de evaluación y la verificación de la clasificación supervisada del año 2000 mediante la matriz de confusión. La matriz arroja un índice kappa de 0.9 lo cual indica una casi perfecta concordancia entre las coberturas y los puntos de evaluación, pues la clase seis (cobertura de suelos desnudos) no tuvo gran coincidencia como ya se había observado en la figura de control de calidad de esta temporalidad.

Figura 23

Puntos De Evaluación y Matriz De Confusión año 2000

Figura 25

Puntos De Evaluación y Matriz De Confusión año 2024



	OID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	Total	U_Accuracy	Kappa
1	0	C_1	10	0	0	0	0	0	0	0	10	1	0
2	1	C_2	0	15	0	0	0	0	0	0	15	1	0
3	2	C_3	0	0	30	0	0	0	0	0	30	1	0
4	3	C_4	0	2	0	8	0	0	0	0	10	0,8	0
5	4	C_5	0	1	0	2	1	4	0	2	10	0,1	0
6	5	C_6	0	0	0	0	0	9	0	1	10	0,9	0
7	6	C_7	0	0	0	0	0	2	0	8	10	0	0
8	7	C_8	0	0	0	0	0	0	0	10	10	1	0
9	8	Total	10	18	30	10	1	15	0	21	105	0	0
10	9	P_Accuracy	1	0,833333	1	0,8	1	0,6	0	0,47619	0	0,790476	0
11	10	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,751212

Implementación De La Metodología Corine Land Cover

Con las coberturas vegetales existentes ya identificadas y clasificadas se logró agruparlas según la leyenda jerárquica con categorías de la Metodología Corine land Cover (MCLC) adaptada para Colombia. Las coberturas de Suelos Desnudos, Pastos, Casas y Quebradas se identificaron en la categoría de nivel 3 que representa una cobertura de Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios naturales, según la leyenda de la MCLC en el nivel 2 se identifican como áreas agrícolas heterogéneas y en nivel 1 como territorios agrícolas. De igual manera, las coberturas identificadas como Bosque Denso Y Bosque se agruparon como Bosque Denso según la categoría nivel 3 de la leyenda de la MCLC. En la tabla 7 se visualiza de una manera organizada las coberturas identificadas en la MCLC y su leyenda jerárquica en cada categoría.

Tabla 7.

Coberturas Identificadas y Su Leyenda Según La Metodología Corine Land Cover

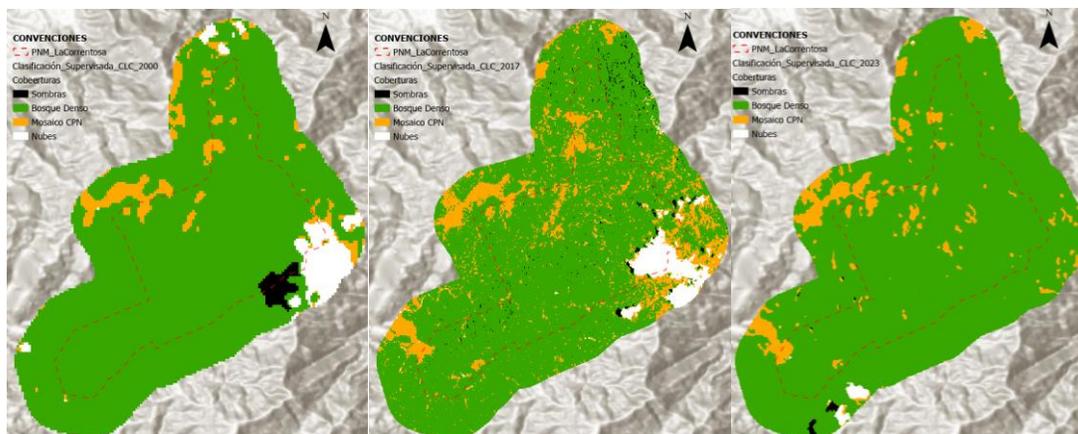
CATEGORIAS	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
Cobertura I	2. Territorios Agrícolas	2.1 Áreas Agrícolas Heterogéneas	2.1.4 Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales
Cobertura II	3. Bosques y Áreas Semi Naturales	3.1 Bosques	3.1.1 Bosque Denso

Adaptación De La Leyenda De La Metodología Corine Land Cover

Las coberturas vegetales existentes con la leyenda adaptada de la MCLC, se clasifican nuevamente con las sombras y nubes, por ende las clases definidas para realizar la clasificación supervisada son: Sombras, Bosque Denso, Mosaico De Cultivos, Pastos Y Espacios Naturales (Mosaico CPN), y Nubes. Las muestras de entrenamiento se agruparon según esta nueva leyenda y se generaron nuevas firmas con las cuales se reclasificó las tres temporalidades. En anexo II y en la figura 26 se observa la salida gráfica de la clasificación supervisada según la leyenda de la MCLC para las tres temporalidades y en la tabla 6 se observan las áreas en hectáreas (has) de las coberturas vegetales en las diferentes temporalidades.

Figura 26

Clasificación Supervisada Con La leyenda CLC



Se observa que el año 2000 la Cobertura de Mosaico CPN se concentra al Centro-oeste y Noroeste del parque y su área de influencia, para el año 2027 se expande por todo el parque en especial al suroeste y centro-este del parque y su área de influencia. Sin embargo, para el año 2023 se reduce en gran medida la cobertura de Mosaico CPN dispersa en todo el parque. Es de resaltar que del año 2000 a 2023 el Mosaico CPN aumentó en el centro-oeste y sur-oeste del parque y su área de influencia.

Tabla 8.

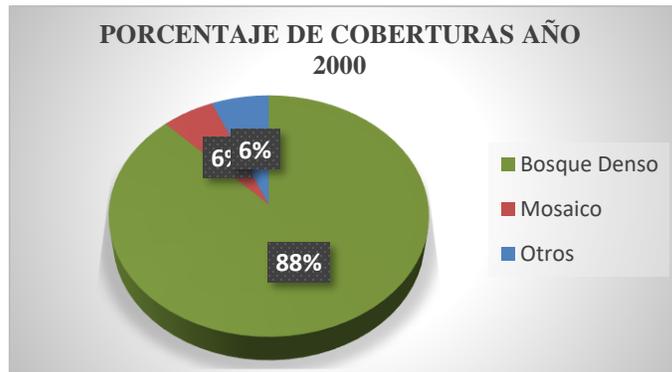
Área De Las Coberturas En Las Tres Temporalidades

COBERTURA	AREA 2000 has	AREA 2017 has	AREA 2023 has
2 Bosque Denso	1.091	1.008	1.142
3 Mosaico CPN	72	177	90
4 Otros	79	57	10
TOTAL	1.242	1.242	1.242

En la figura 27 se observa que para el año 2000 la cobertura Bosque Denso representa el 88% de las coberturas con 1.091 has. La cobertura Mosaico CPN el 6% con un área de 72 has y el otro 6% representa otras coberturas que no aportan información a la investigación con un área de 79 has.

Figura 27.

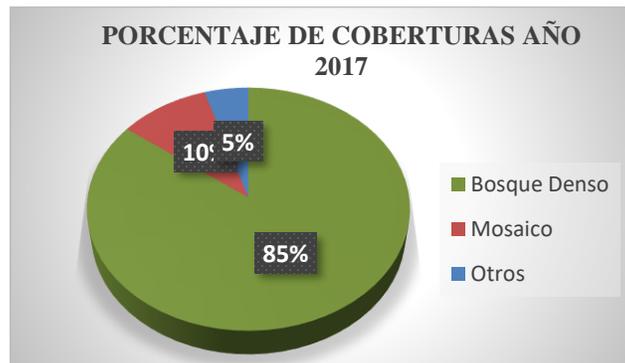
Porcentaje De Coberturas vegetales en el año 2000



En la figura 28 se observa que para el año 2017 el Bosque Denso representa el 85% de las coberturas con un área de 1.008 has, la cobertura de Mosaico CPN el 10% con un área de 177 has, y el 5% representa otras coberturas que no se tienen en cuenta en el análisis multitemporal con un área de 57 has.

Figura 28.

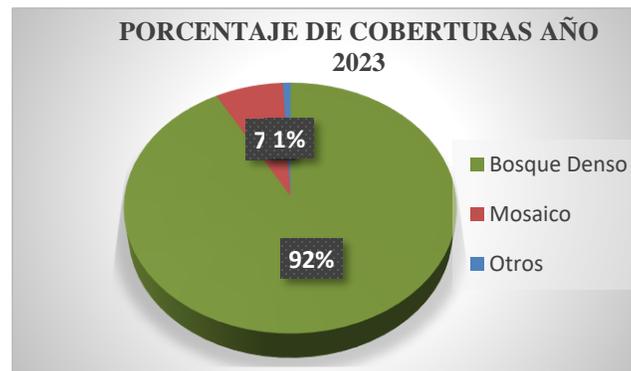
Porcentaje De Coberturas vegetales en el año 2017



En la figura 29 se observa que en el año 2023 la cobertura de Bosque Denso representa el 92% de la cobertura vegetal con un área de 1.142 has, la cobertura Mosaico CPN el 7% con un área de 90 has, y el 1% representa a las coberturas que no tienen información para la presente investigación, con un área de 10 has.

Figura 29.

Porcentaje De Coberturas vegetales en el año 2023



Control De Calidad, Evaluación Y Validación De La Clasificación Supervisada

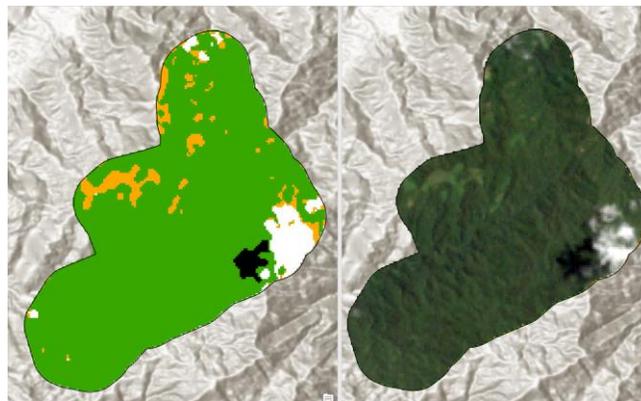
Adaptada

Se realizó una clasificación supervisada de calidad ya que las coberturas coinciden con las coberturas identificadas en la imagen multiespectrales a color natural. En el año 2000 las coberturas Nubes, Sombras, Mosaico CPN y Bosque Denso coinciden exactamente, sin embargo, áreas de la cobertura Mosaico CPN no coinciden en el área donde están las nubes, esto vuelve a ocurrir al igual que en la fase 1, por lo tanto, se puede establecer que a simple vista por la resolución de la imagen no se identifica que haya esta cobertura, pero las clasificaciones no supervisada, supervisada y los reales como el PCA indican que hay una cobertura de Mosaico

en la zona de discusión. En la figura 30 se puede observar la comparación entre los dos ráster mencionados de esta temporalidad.

Figura 30.

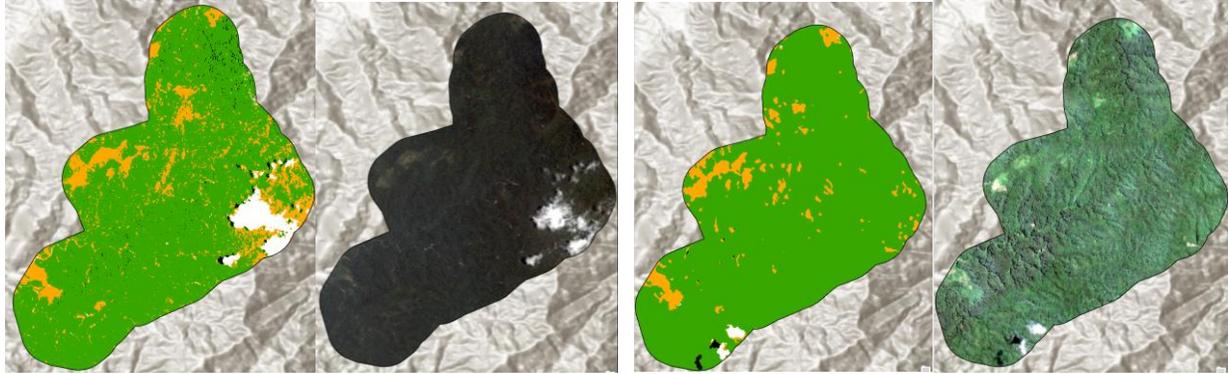
Control De Calidad De La Clasificación Supervisada Adaptada Año 2000



En el año 2017 y 2023 las cobertura Nubes, Sombras, Mosaico CPN y Bosque Denso coinciden exactamente, sin embargo, en la imagen del 2017 al igual que el año 2000 áreas de la cobertura Mosaico CPN no coinciden en el área donde están las nubes, aunque la imagen tiene buena resolución, el opaco brillo de la misma no permite identificar esta cobertura en esa zona, sin embargo, las clasificaciones no supervisada, supervisada y los realces como el PCA indican que si hay una cobertura de Mosaico CPN en la zona de las nubes, pero pequeña a comparación de lo que arroja la clasificación en discusión. En la figura 31 se puede observar la comparación entre los dos ráster mencionados de la temporalidad 2017 y 2023.

Figura 31.

Control De Calidad De La Clasificación Supervisada Adaptada Año 2017 y 2023



En la figura 32, 33 y 34 se observa los puntos de evaluación y la verificación de la clasificación supervisada adaptada a la MCLC para las tres temporalidades mediante la matriz de confusión. Para el año 2000 y 2023 la matriz arroja un índice kappa de 1 y para el año 2017 un índice de 0.9 lo cual indica una casi perfecta concordancia entre las coberturas y los puntos de evaluación de las tres temporalidades.

Figura 32.

Puntos De Evaluación y Matriz De Confusión, Clasificación Supervisada Adaptada Año 2000

OID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	Total	U_Accuracy	Kappa	
1	0	C_1	10	0	0	0	10	1	0
2	1	C_2	0	44	0	0	44	1	0
3	2	C_3	0	0	10	0	10	1	0
4	3	C_4	0	0	0	10	10	1	0
5	4	Total	10	44	10	10	74	0	0
6	5	P_Accuracy	1	1	1	1	0	1	0
7	6	Kappa	0	0	0	0	0	0	1

Figura 33.

Puntos De Evaluación y Matriz De Confusión, Clasificación Supervisada Adaptada Año 2017

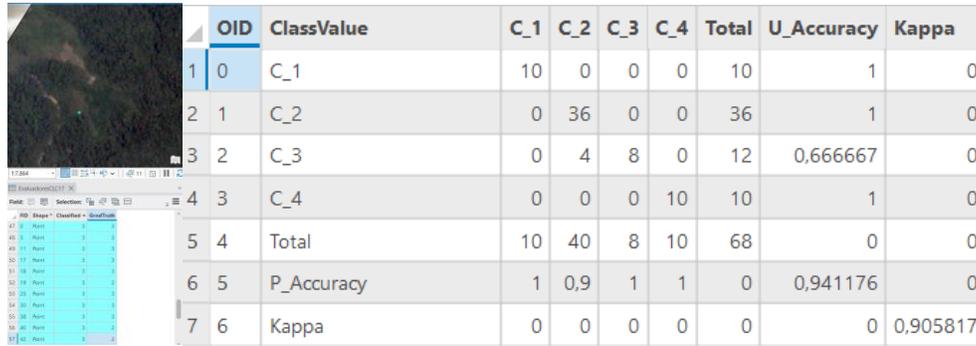


Figura 34.

Puntos De Evaluación y Matriz De Confusión, Clasificación Supervisada Adaptada Año 2023



Evaluación Del Cambio De Las Coberturas Vegetales

Se determina la ampliación de la frontera agrícola, según los cambios de las coberturas vegetales encontrados en el PNM La Correntosa y su área de influencia en los periodos 2000-2017, 2017-2023 y 2000-2023.

Para la interpretación de la dinámica de los cambios de coberturas, se entiende que, *sin cambio* hace referencia a las coberturas que ha permanecido con la misma cobertura o no han sufrido cambio. *Recuperación* hace referencia al cambio de cobertura Mosaico CPN a Bosque Denso y *Ampliación de la frontera agrícola* hace referencia al cambio de la cobertura Bosque Denso a Mosaico CPN.

Identificación De Los Cambios De Cobertura Vegetal

Los cambios de coberturas para los tres periodos establecidos se observan en la salida gráfica del anexo IV y en la figura 35. En la tabla 7 se observa el área en has de los cambios de las coberturas en cada periodo.

Figura 35.

Cambios De Coberturas Vegetales En Los Periodos 2000-2017, 2017-2023 Y 2000-2023.

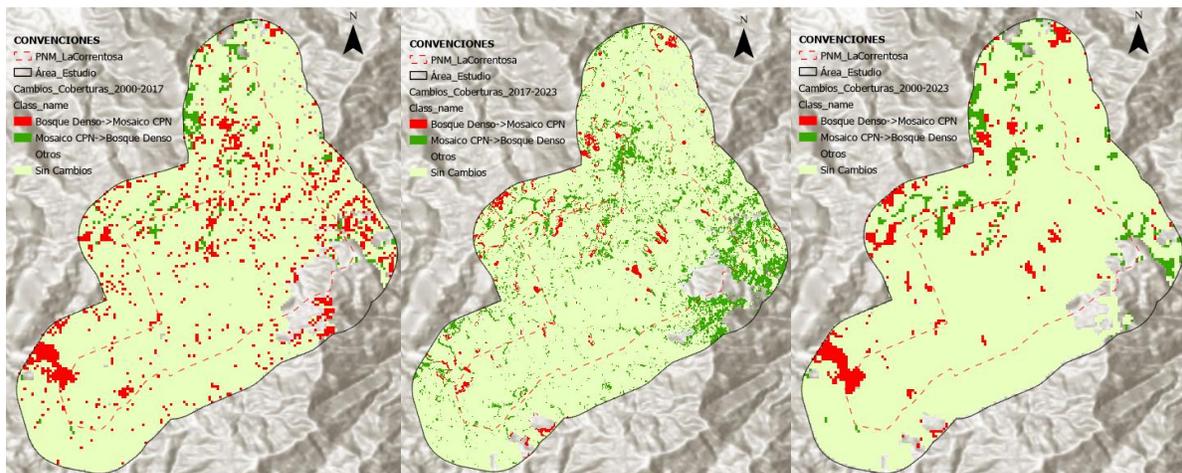


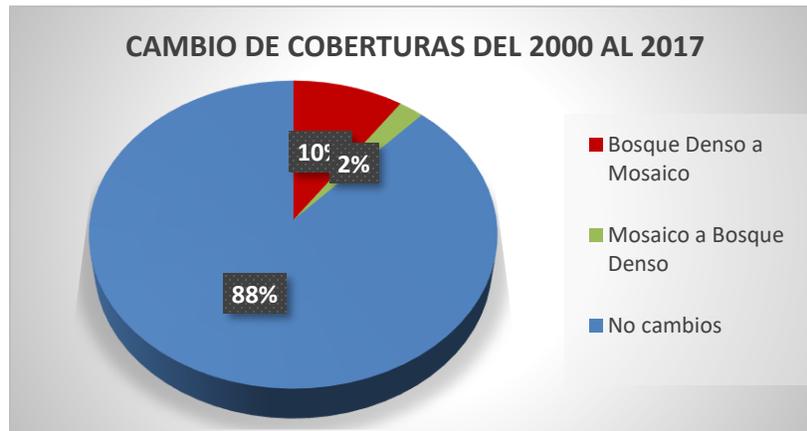
Tabla 9.*Áreas De Los Cambios De Las Coberturas Vegetales En Los Tres Periodos*

ID	CAMBIOS	AREA has 2000-2017	AREA has 2017-2023	AREA has 2000-2023
1	Bosque Denso a Mosaico CPN	109	28	56
2	Mosaico CPN a Bosque Denso	25	116	40
3	Otros	109	69	89
4	Sin Cambios	998	1.028	1.046
TOTAL		1.241	1.241	1.231

Periodo 2000-2017. En este periodo se mantuvo en gran magnitud las coberturas vegetales existente, sin embargo, se identifica el cambio de la cobertura Bosque Denso a Mosaico CPN lo cual se interpreta como la ampliación de la frontera agrícola, este cambio se observa en pequeñas áreas distribuidas en todo el parque y su área de influencia. Se identifica de igual manera, en menor magnitud la recuperación natural o antrópica del Bosque Denso con el cambio de la cobertura Mosaico CPN a Bosque Denso.

En la figura 36 se observa que el 10 % de las coberturas tuvo un cambio de Bosque Denso a Mosaico CPN, equivalente a un área de 109 has de ampliación de la frontera agrícola. Se observa también, que el 2% de las coberturas tuvo un cambio de Mosaico CPN a Bosque Denso, equivalente a un área de 25 has de recuperación del Bosque Denso. Y el 88% de la cobertura del parque y su área de influencia no presentó cambios, lo equivalente a un área de 998 has.

Figura 36.

Porcentaje De Cambio Coberturas Vegetales Periodo 2000-2017

Periodo 2017-2023. En este periodo se recupera de manera significativa la cobertura de Bosque Denso debido al cambio de la cobertura Mosaico CPN a Bosque Denso, este cambio se observa en áreas distribuidas en todo el parque y el área de influencia, específicamente sobre el centro-este del área de influencia. También se identifica en menor magnitud el cambio de la cobertura Bosque Denso a Mosaico CPN que se interpreta como ampliación de la frontera agrícola, dicho fenómeno se observa en el centro y suroeste del parque, y en el centro-oeste y noroeste del área de influencia.

En la figura 37 se observa que el 2% de la cobertura cambió de Bosque Denso a Mosaico CPN, equivalente a un área de 28 has de ampliación de la frontera agrícola. El 10% cambió de Mosaico CPN a Bosque Denso, equivalente a un área de 116 has que se recuperaron natural o antrópicamente. Y el 88% de las coberturas del parque y su área de influencia no presentó cambios, lo equivalente a un área de 1.028 has.

Figura 37.*Porcentaje De Cambio Coberturas Vegetales Periodo 2017-2023*

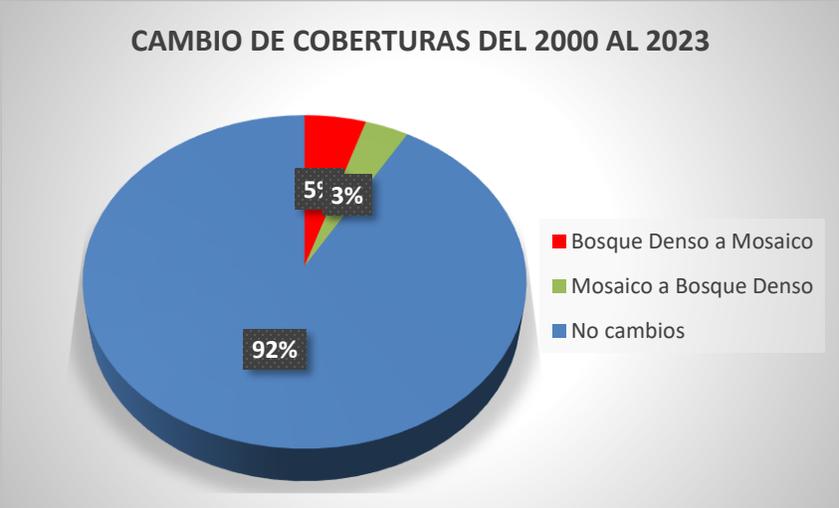


Unidos los dos periodos anteriores en el periodo 2000 a 2023, se identifica en gran magnitud que las coberturas vegetales existentes se mantuvieron sin presentar cambios, sin embargo, se identifica la ampliación de la frontera agrícola al suroeste, centro-oeste y noroeste, del parque y de la zona de influencia. Es de resaltar, aunque en menor representación la recuperación del Bosque Denso al noroeste, centro-oeste y centro-este de la zona de influencia, así como al noroeste y centro-oeste del parque.

En la figura 38 se observa que el 5% de la cobertura cambió de Bosque Denso a Mosaico CPN, equivalente a un de área de 56 has de la ampliación de la frontera agrícola, el 3% de Mosaico CPN a Bosque Denso, equivalente a un área de 40 has de recuperación del bosque denso y el 92% de la cobertura equivalente a 1.046 has no presentó cambios.

Figura 38.

Porcentaje De Cambio Coberturas vegetales en el año 2000 a 2023



Discusión

La cobertura vegetal más representativa del PNM La Correntosa y su área de influencia es la cobertura de Bosque Denso, sin embargo, del periodo 2000-2017 el bosque sufrió una pérdida de 83 hectáreas. Debido a la falta de política y control ambiental para la conservación sobre el área protegida y su influencia en este periodo. En dicha pérdida y falta de control, tomó terreno la ampliación de la frontera agrícola, cuyas actividades agropecuarias como el cultivo de café y ganadería, además del aprovechamiento ilícito de especies nativas maderables no son vigiladas en las zonas de mayor altura y de Bosque Denso. Según PBOT (2016) el municipio de Acevedo se caracteriza por su cobertura abundante de cultivos de café, gracias a sus alturas adecuadas para la siembra de este cultivo, además de pastos y entre otros.

La cobertura de Bosque Denso en el periodo 2017-2023 tuvo una recuperación significativa de 142 hectáreas, debido a que en el año 2015 las entidades gubernamentales encargadas del PNM realizaron la compra de predios de uso agrícola en el área de influencia del PNM para la conservación y protección del mismo. Sin embargo, es de resaltar que la importancia ecológica del parque es vital para la comunidad del municipio de Acevedo, puesto que, del parque yace la fuente abastecedora de agua potable para el casco urbano del municipio. Por ende, las medidas de protección deben de seguir implementándose ya que aún existe en el parque y en su área de influencia 90 hectáreas de Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales que según la metodología corine land cover los categoriza como territorios agrícolas.

La cobertura Mosaico CPN en el área del PNM y en su área de influencia tuvo un crecimiento importante en el transcurso de 23 años. En el año 2000 se evidencia esta cobertura solo en el noroeste y centro-oeste del área de influencia y en el año 2023 se expande y se evidencia al suroeste de la misma. Las áreas de influencia no son áreas protegidas, pero incluyen paisajes con características naturales similares a las áreas protegidas. Por ende, sirve como zona de transición para mitigar los efectos adversos que pudieran tener sobre la zona protegida las modificaciones ambientales de su entorno (Valdés Perezgasga, 2014).

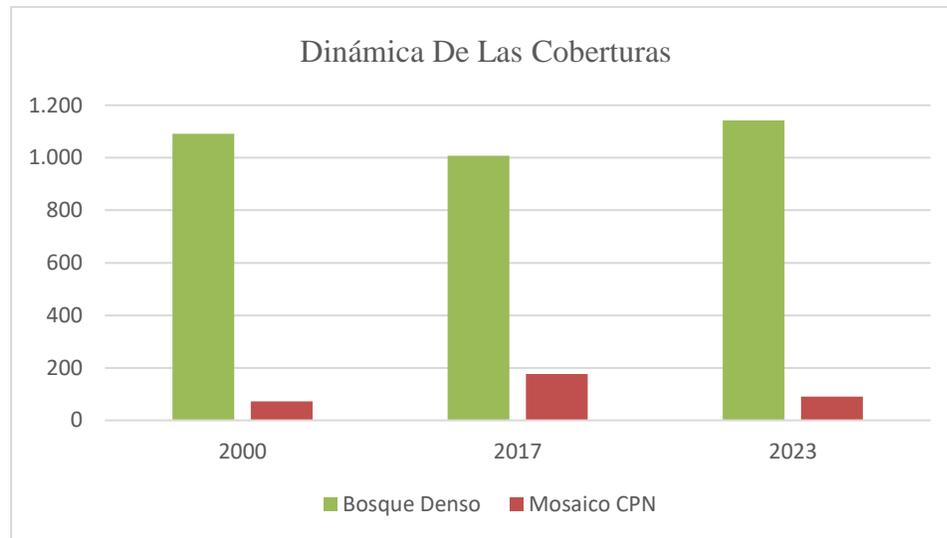
Los territorios agrícolas de las veredas Recreo, San José de Las Minas, San Jose de Llanitos y Bolivar se expanden cada vez hacia el PNM y su área de influencia. En la vereda el Recreo limitante al noroeste del parque se ha mantenido el territorio agrícola sobre un área pequeña del parque, y se ha expandido en el área de influencia. En las veredas san José de las Minas y San José de Llanitos limitantes por el centro-oeste del parque, se ha expandido los territorios agrícolas tanto en el área de influencia como en el parque. Y en la vereda Bolivar limitante por el suroeste del parque, se evidencia que no había territorios agrícolas en el año 2000 cerca al parque y su área de influencia, y para el año 2023 se expandió el territorio agrícola considerablemente tanto en el PNM como su área de influencia.

La dinámica de las dos coberturas del PNM y su área de influencia respecto a las tres temporalidades analizadas, se observa en la figura 38. Donde se evidencia que la cobertura Bosque denso predomina en las tres temporalidades, sin embargo, en el año 2017 su área disminuye recuperándose nuevamente en el año 2023, y de igual manera se evidencia el

comportamiento de la Cobertura Mosaico CPN, donde presenta un crecimiento en el año 2017 y disminuye nuevamente en el año 2023.

Figura 39.

Dinámicas De Las Coberturas En Las Tres Temporalidades



Es de resaltar que debido a las abundantes lluvias en el parque se identificó la ocurrencia de fenómenos naturales como erosión y remoción en masa lo que genera deslizamientos, cerca de los afluentes hídricos que yacen y hacen parte del parque. Sin embargo, por la resolución de las imágenes, estos se clasificaron inicialmente como suelos desnudos y con la adaptación a la leyenda de la MCLC se agrupó como Mosaico CPN. Dicho fenómeno se ubica disperso en toda el área del PNM y área de influencia, se observa en mayor detalle en la imagen de la mayor resolución (Planet scope), por ende, hubo mayor cobertura de Mosaico CPN para el año 2017.

Conclusiones

Se logró identificar las coberturas vegetales existentes en el Parque Natural Municipal (PNM) La Correntosa y su área de influencia a través de la clasificación supervisada, donde se encontró coberturas de Bosque Denso, Bosque, Pastos, Quebradas, Suelos Desnudos y Casas en las tres temporalidades (2000, 2017, 2023).

Con la implementación de la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia en las coberturas vegetales existentes del PNM la Correntosa y su área de influencia, se logró identificar las coberturas Bosque Denso Y Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales (CPN) en las tres temporalidades. Donde el Bosque Denso en la actualidad (2023) tiene un área de 1.142 hectáreas y el Mosaico CPN tiene un área de 90 hectáreas.

Se evaluó el cambio en las coberturas vegetales existentes gracias a la herramienta *“compute change ráster”* del software SIG ArcGIS Pro, donde se establece que durante el periodo 2000-2023 la cobertura Bosque Denso tuvo un cambio de 56 hectáreas a Mosaico CPN, y la cobertura Mosaico CPN cambió 40 hectáreas a Bosque Denso.

A través del análisis multitemporal se analizó que la frontera agrícola en el Parque Natural Municipal La Correntosa y su área de influencia, presenta una expansión de alerta, pues en el año 2000 se encontró 72 hectáreas de territorios agrícolas y en 2023 incrementó a 90 hectáreas.

Se evidencia que para el periodo 2017-2023 la expansión de la frontera agrícola tuvo una disminución significativa de 87 hectáreas debido a la compra de predios por parte de las entidades gubernamentales encargadas del PNM, en el cual el Bosque Denso se recuperó. Sin embargo, se debe seguir implementando medidas de conservación para proteger el PNM, ya que la cobertura de Mosaico CPN del área de influencia se ha expandido sobre el PNM.

Con la ampliación de la frontera agrícola en las coberturas de Bosque Denso del PNM y su área de influencia causa desplazamiento de especies por la tala de bosques, quema de carbón y asentamientos humanos, y pone en riesgo la calidad del recurso hídrico por el uso de agroquímicos y pesticidas en los cultivos y por coliformes fecales generados por la ganadería, los cuales llegan indirectamente a los causes de las quebradas que alimentan el cauce principal del acueducto del municipio de Acevedo.

Recomendaciones

Es necesario que se tomen medidas urgentes y pertinentes sobre las veredas limitantes del PNM La Correntosa, en especial en la vereda Bolívar, ya que en el análisis multitemporal se identifica el avance de la frontera agrícola del área de influencia hacia el área del PNM.

Según el plan básico de ordenamiento territorial del municipio de Acevedo, se proyectó predios cercanos al PNM para la conservación y protección de los recursos naturales, por lo cual, se recomienda la compra de estos lo más antes posible, con el fin de detener la ampliación de la frontera agrícola y recuperar el Bosque Denso del PNM y su área de influencia meritoria de su protección.

Para analizar la ampliación de la frontera agrícola sobre coberturas de Bosque Denso, es recomendable el uso de sensores remotos que capture imágenes de alta resolución espacial, puesto que fue difícil identificar las coberturas de territorios agrícolas sobre el Bosque Denso con imágenes satelitales de baja resolución como es caso de Landsat 7.

Hay pocos estudios que se centren en áreas de bosques densos, donde la baja disponibilidad de datos y los procesos de cambio complejos presentan desafíos para el monitoreo de los impactos ambientales, por ende, los métodos de detección de cambios temporales se requieren de imágenes libres de nubes para un producto de cambio sin brechas, pues la cobertura

de nubes presenta una restricción clave, especialmente en los trópicos donde la nubosidad es frecuentemente alta.

Es importante que se implemente el análisis espacial de fenómenos naturales como remoción en masa del PNM, para tomar medidas de gestión de riesgo, ya que en este estudio gracias a las imágenes planet scop y sentinel-2 de alta resolución, se identificó la ocurrencia de deslizamientos cerca de los afluentes hídricos que yacen y hacen parte del parque.

Se recomienda el uso de la herramienta de análisis de componentes principales-PCA, para dar realce a las coberturas que son difícil de identificar en medio de Bosque denso. De igual manera, se recomienda realizar la clasificación No supervisada cuando no se tiene conocimiento en campo, con el fin de tener más certeza a la hora de identificar las clases para la clasificación supervisada.

Se recomienda el uso de los sensores remotes y los sistemas de información geográfica, para conocer la evolución de los ecosistemas y analizar impactos ambientales ocurridos a través del tiempo.

Referencias

- Agencia Espacial Europea. (2024). *PlanetScope*. Tierra en línea.
<https://earth.esa.int/eogateway/missions/planetscope>
- Agencia Espacial Europea. (2024). *Programa Copernicus*. SentiWiki.
<https://sentiwiki.copernicus.eu/web/copernicus-programme>
- Alcaldía de Acevedo. (2016). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial*.
- Alcaldía de Acevedo. (Noviembre de 2018). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial*. Alcaldía de Acevedo: <https://www.acevedo-huila.gov.co/>
- Anzoategui, L. V., Gil Leguizamón, P. A., & Sanabria Marin, R. (2023). Frontera agrícola y multitemporalidad de cobertura vegetal en Páramo del Parque Regional Natural Cortadera (Boyacá, Colombia). *Bosque (valdivia)*, *44*, 159-170.
<https://doi.org/https://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002023000100159>
- Baumann, M., Gasparri, I., Buchadas, A., Oeser, J., Meyfroid, P., palancas, C., Romero Muñoz, A., Le Polain de Waroux, Y., Muller, D., & Kuemmerle, T. (2022). Frontier metrics for a process-based understanding of deforestation dynamics. *Environmental Research Letters*, *17*(9). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac8b9a>
- Bonfanti, F. A., & Sánchez, M. E. (2023). Transformations in agricultural and forestry spaces in eastern Salta province (Argentina) between 2000 and 2021. *Revista Geográfica de América Central*, *71*, 111-142. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.15359/rgac.71-2.4>
- Chadid, M., Dávalos, L., Molina, J., & Armenteras, D. (2015). A Bayesian Spatial Model Highlights Distinct Dynamics in Deforestation from Coca and Pastures in an Andean Biodiversity Hotspot. *Forests*, *6*, 3828-3846.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/f6113828>
- Clerici, N., Armenteras, D., Forero, M., Ochoa, J., Pedraza, M., Linares, C., Hirashiki, D., Biggs, Botero, J., Delgado, R., Schneider, L., Loral, C., & Gómez, C. (2020). Deforestation in Colombian protected areas increased during post-conflict periods. *Scientific Reports*, *10*, 49-71. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-020-61861-y>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (18 de 02 de 2020). *Biodiversidad mexicana*. Monitoreo de la cobertura del suelo:
<https://www.biodiversidad.gob.mx/monitoreo/cobertura-suelo>

Consejo Nacional de Política Económica y Social. (21 de Julio de 2010). *Documento Conpes 3680*. Lineamientos para la consolidación del sistema nacional de áreas protegidas:

<http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/planaccion/biblioteca/pordinario/Colombia/sinap.pdf>

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena. (s.f.). *Áreas Protegidas del Huila*.

https://cam.gov.co/images/documents/phocadownload/Pub_verdes/Huila_Patrimonio/fasciculo1.pdf

Devia Acosta, C. Y., & Piñeros Lizarazo, R. (2022). Dinámica territorial del extractivismo agrícola y petrolero a comienzos del siglo XXI en el departamento del Meta, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 26, 37-62.

<https://doi.org/https://doi.org/10.19053/01233769.11106>

Devries, B., Verbesselt, J., Kooistra, L., & Herold, M. (2015). Robust monitoring of small-scale forest disturbances in a tropical montane forest using Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 16(1), 107-121.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.02.012>

Domínguez Cervantes, E. (2009). Conectividad Biológica Y Social Zonas De Influencia De Las Áreas Naturales Protegidas. *Serie Conocimientos*, 5.

https://doi.org/https://www.academia.edu/563934/Zonas_de_influencia_de_las_%C3%A1reas_naturales_protegidas

Escandon Calderon, J., Ordoñez Diaz, J. B., Nieto Pacual, M. D., & Ordoñez Diaz, M. D. (2018). Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46), 27-53.

<https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.135>

Esri. (17 de 01 de 2023). *Learn ArcGis*. Introducción a las imágenes :

<https://learn.arcgis.com/es/projects/get-started-with-imagery/>

ESRI. (30 de 03 de 2024). *como funciona la clasificación supervisada*. ArcGIS Pro:

<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-principal-components-works.htm>

Florez Yepes, G. Y., Rincón Santamaría, A., & Cardona, P. S. (2017). Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia. *DYNA*, 84, 95-101.

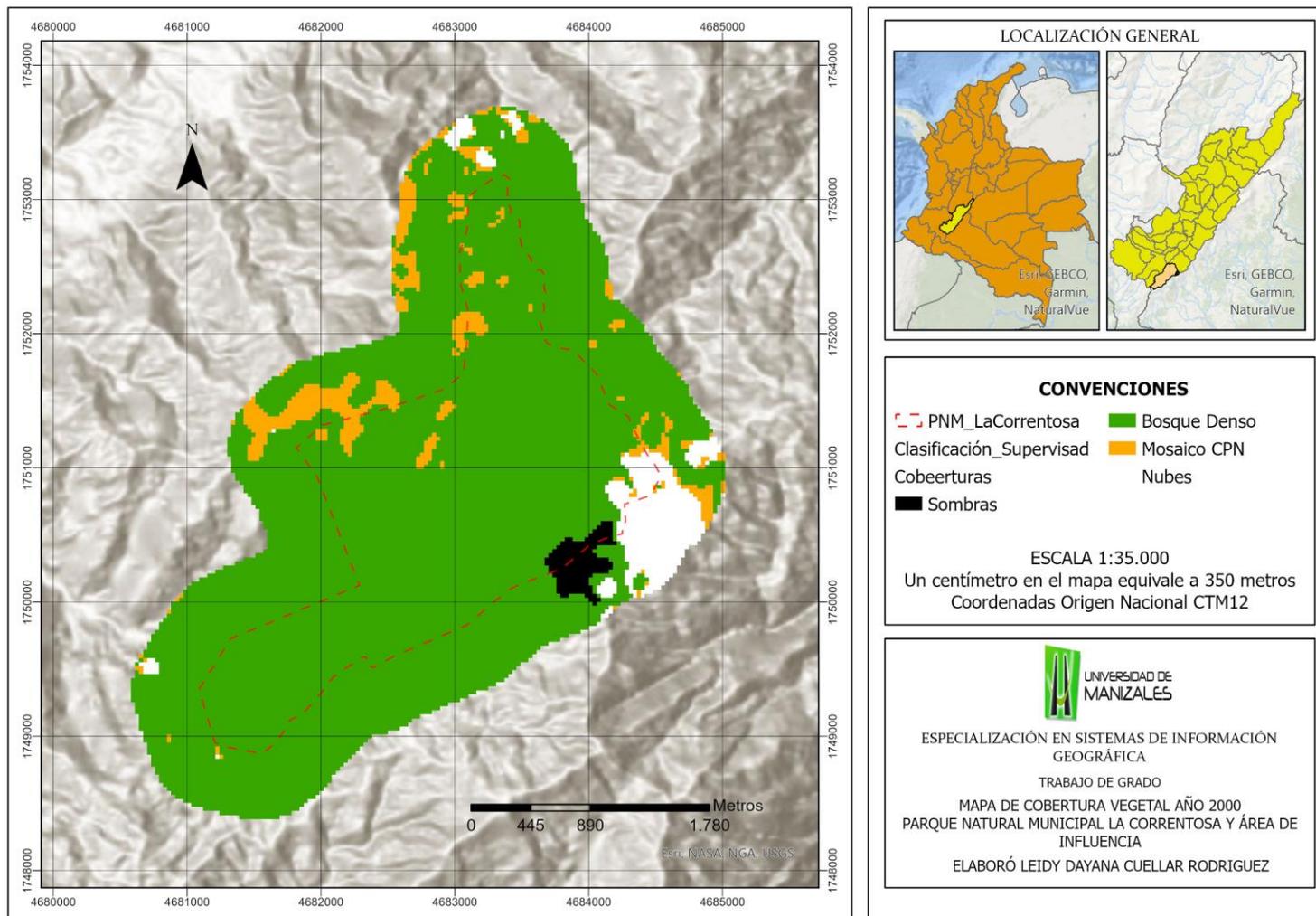
<https://doi.org/https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.55759>

- Gallardo Arce, B. G., Morales Hernández, J. C., Martínez, O. F., Bravo Olivas, M. L., & Carrillo Gonzáles, F. M. (2022). Cambio de cobertura vegetal y uso de suelo generado por actividades agrícolas en el municipio de Bahía de Banderas, Nayarit, México. *Acta Universitaria*, 32, 18-36. <https://doi.org/doi: http://doi.org/10.15174.au.2022.3618>
- Grande Medina, J. D. (2015). *Modelamiento morfométrico y análisis multitemporal del uso suelo*. Repositorio Universidad de Manizales.
- IDEAM. (2010). Leyenda Nacional De Coberturas De La Tierra, Metodología Corine Land Cover Adaptada Para Colombia. *IDEAM*.
https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/303960063_LEYENDA_NACIONAL_DE_COBERTURAS_DE_LA_TIERRA_METODOLOGIA_CORINE_LAND_COVER_ADAPTADA_PARA_COLOMBIA_ESCALA_1100000
- Instituto de Hidrología, meteorología y Estudios Ambientales. (2021). *Monitorio De Deforestación En Colombia, Año 2020-2021*. IDEAM.
http://www.ideam.gov.co/documents/10182/113437783/Presentacion_Deforestacion2020_SMBByC-IDEAM.pdf/8ea7473e-3393-4942-8b75-88967ac12a19#:~:text=Principales%20causas%20directas%20Malas%20pr%C3%A1cticas%20de%20ganader%C3%ADa%20extensiva,ilegal%20Ampliaci%C3%B
- Lohbeck, M., DeVries, B., Bongers, F., Martínez Ramos, M., Navarrete Segueda, A., Nicasio Arzeta, S., Siebe, C., Pingarroni, A., Wies, G., & Decuyper, M. (2022). Mexican agricultural frontier communities differ in forest dynamics with consequences for conservation and restoration. *Remote Sensing Ecology and Conservation*, 8(4), 564-577. <https://doi.org/10.1002/rse2.262>
- Macedo Cruz, A., Martín Sanz, G. P., & Santos Peñas, M. (2010). Clasificación no supervisada con imágenes a color de cobertura terrestre. *Agrociencia*, 44.
https://doi.org/https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000600010
- Maciel, A. M., Picoli, M. C., Vinhas, L., & Camara, G. (2020). Identifying Land use Change Trajectories in Brazil's Agricultural Frontier. *Land*, 9(12).
<https://doi.org/10.3390/land9120506>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (21 de Junio de 2018). *Resolución 000261*. Frontera Agrícola Nacional :
<https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/Resoluci%C3%B3n%20No%20000261%20de%202018.pdf>

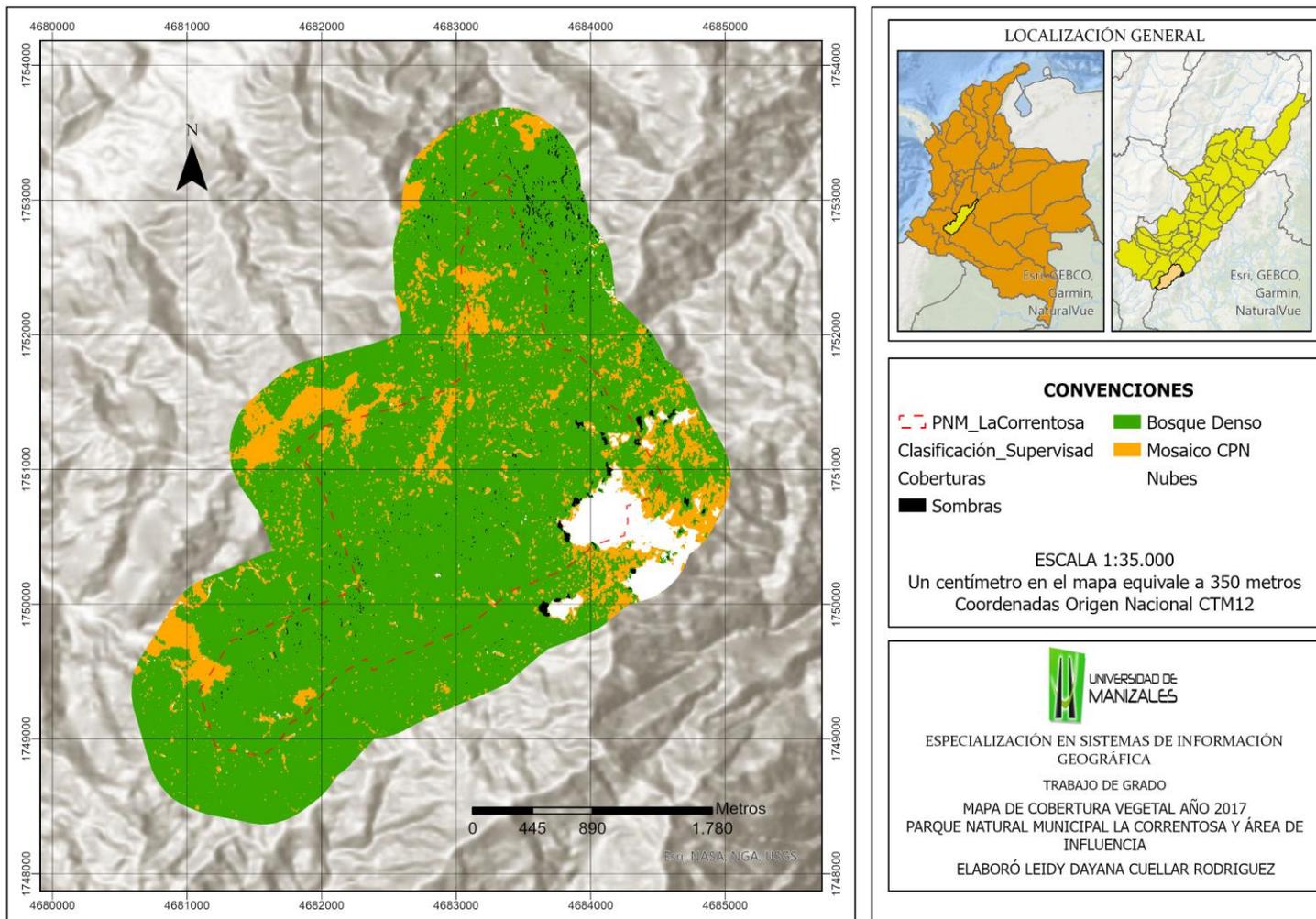
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (30 de Diciembre de 2013). *Resolución 1995*.
<https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/resolucion-1925-de-2013/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (26 de 05 de 2015). *Decreto Unico Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076*.
<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Decreto-1076-de-2015.pdf>
- Olivares, B. O., & Lopez Beltran, M. A. (2019). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. *Cuadernos de Investigación UNED, 11*, 112-121.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22458/urj.v11i2.2299>.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (26 de 05 de 2023). *parques nacionales*. Retrieved 27 de 05 de 2023, from Políticas:
<https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/sistema-nacional-de-areas-protegidas-sinap/politicas-y-marco-normativo/>
- Ramos Organillo, F. J. (2020). Análisis de imágenes satelitales LANDSAT 8 por componentes principales para identificación de zonas con mineralización por carbonatos de cobre en la región de Jolalpan, Puebla. *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*.
<https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12371/11628>
- Siegel, K., Ochoa, J., Shofner, E., Farah Perez, A., Kinnebrew, E., & Novoal, M. (2021). Integration of qualitative and quantitative methods for land-use-change modeling in a deforestation frontier. *Conservation Biology, 36*(6). <https://doi.org/10.1111/cobi.13924>
- Suarez Parra, K. V., Cely Reyes, G. E., & Forero Ulloa, F. E. (2016). Corine Land Cover (CLC) methodology validation for the space temporary coverage. *Biota Colombiana, 17*(1).
<https://doi.org/DOI: 10.21068/C2016v17r01a01>
- UNESCO. (1979). *Reserva de la Biosfera Cinturón Andino, Colombia*.
<https://en.unesco.org/biosphere/lac/cinturon-andino>
- Unidad de Planificación Rural agropecuaria. (17 de Febrero de 2022). *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Sostenible*. Frontera Agrícola Nacional: https://upra.gov.co/es-co/Documents/01_Frontera_Agricola.pdf
- Valdés Perezgasga, F. (2014). *¿Cómo funciona un área natural protegida?* México: Milenio.
<https://www.milenio.com/opinion/francisco-valdes-perezgasga/columna-francisco-valdes-perezgasga/como-funciona-un-area-natural-protegida>

- Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M., & Lopez Morales, F. (2020). Aplicación de sensores remotos para el análisis de coberturas y cuerpos de agua. *Idesia (Arica)*, 38, 99-107. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000400099>

A. Anexo: Mapa de cobertura vegetal año 2000



B. Anexo: Mapa de cobertura vegetal año 2017



LOCALIZACIÓN GENERAL

CONVENCIONES

PNM_LaCorrentosa	Bosque Denso
Clasificación_Supervisada	Mosaico CPN
Coberturas	Nubes
Sombras	

ESCALA 1:35.000
 Un centímetro en el mapa equivale a 350 metros
 Coordenadas Origen Nacional CTM12

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

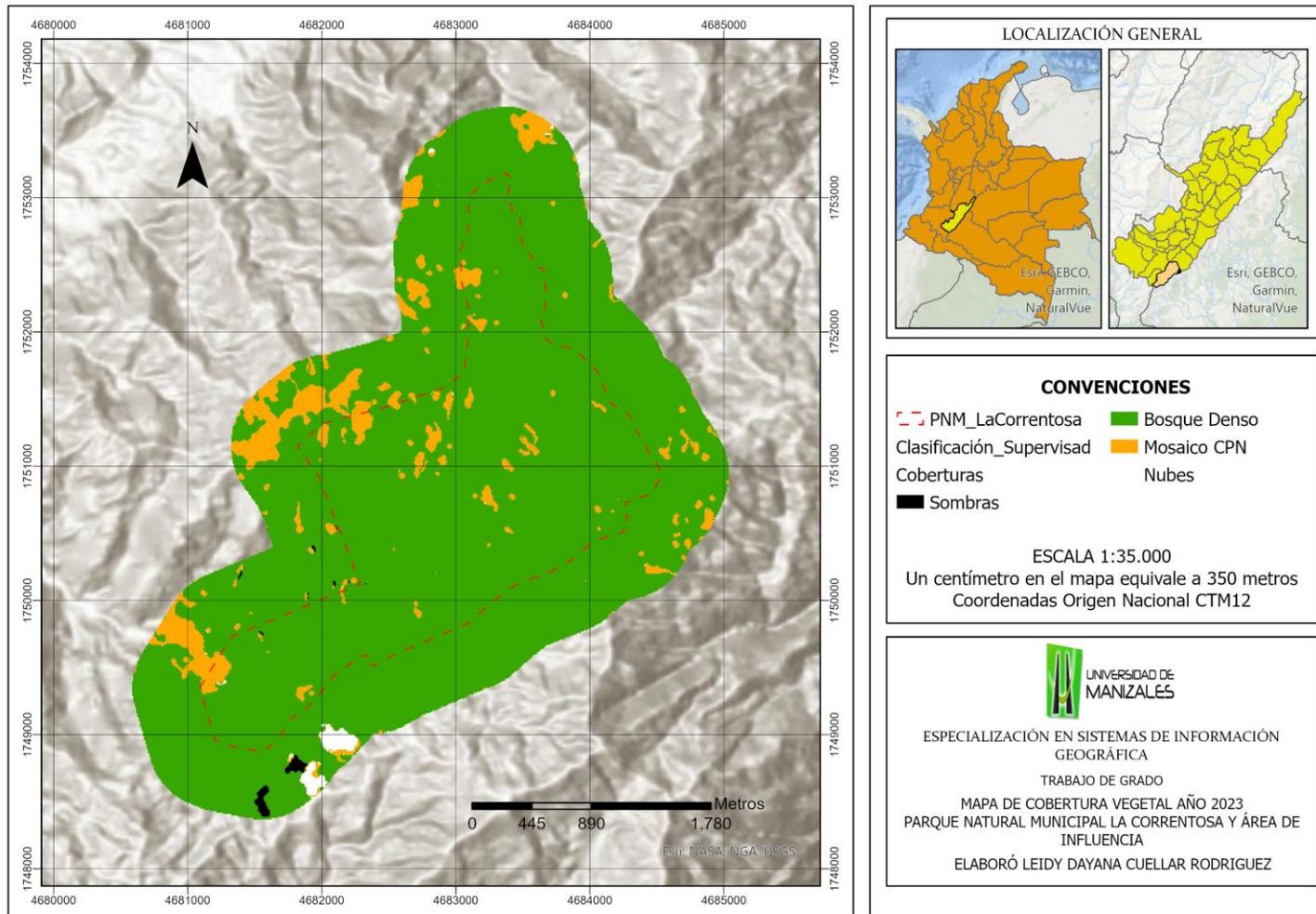
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

TRABAJO DE GRADO

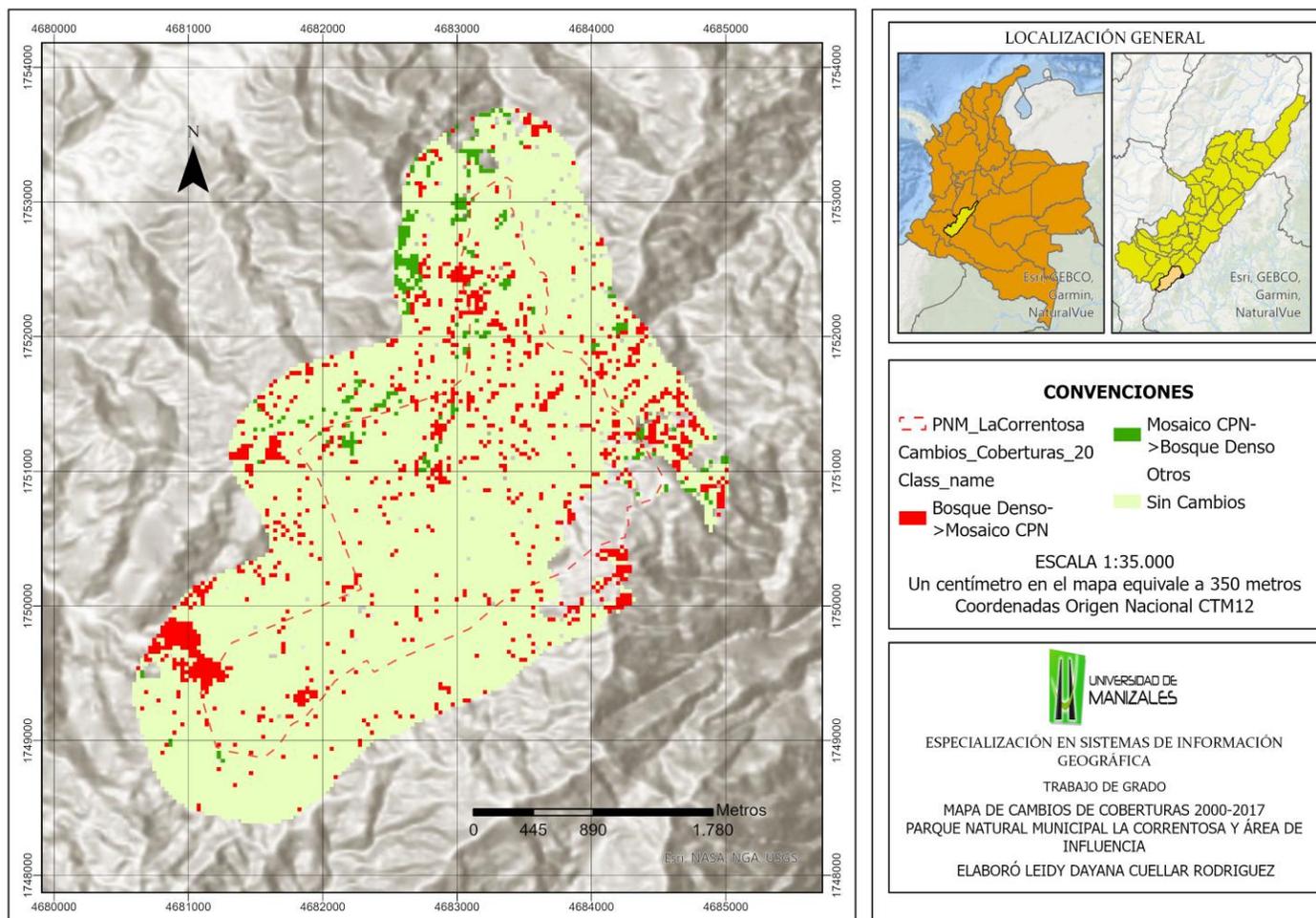
MAPA DE COBERTURA VEGETAL AÑO 2017
 PARQUE NATURAL MUNICIPAL LA CORRENTOSA Y ÁREA DE INFLUENCIA

ELABORÓ LEIDY DAYANA CUELLAR RODRIGUEZ

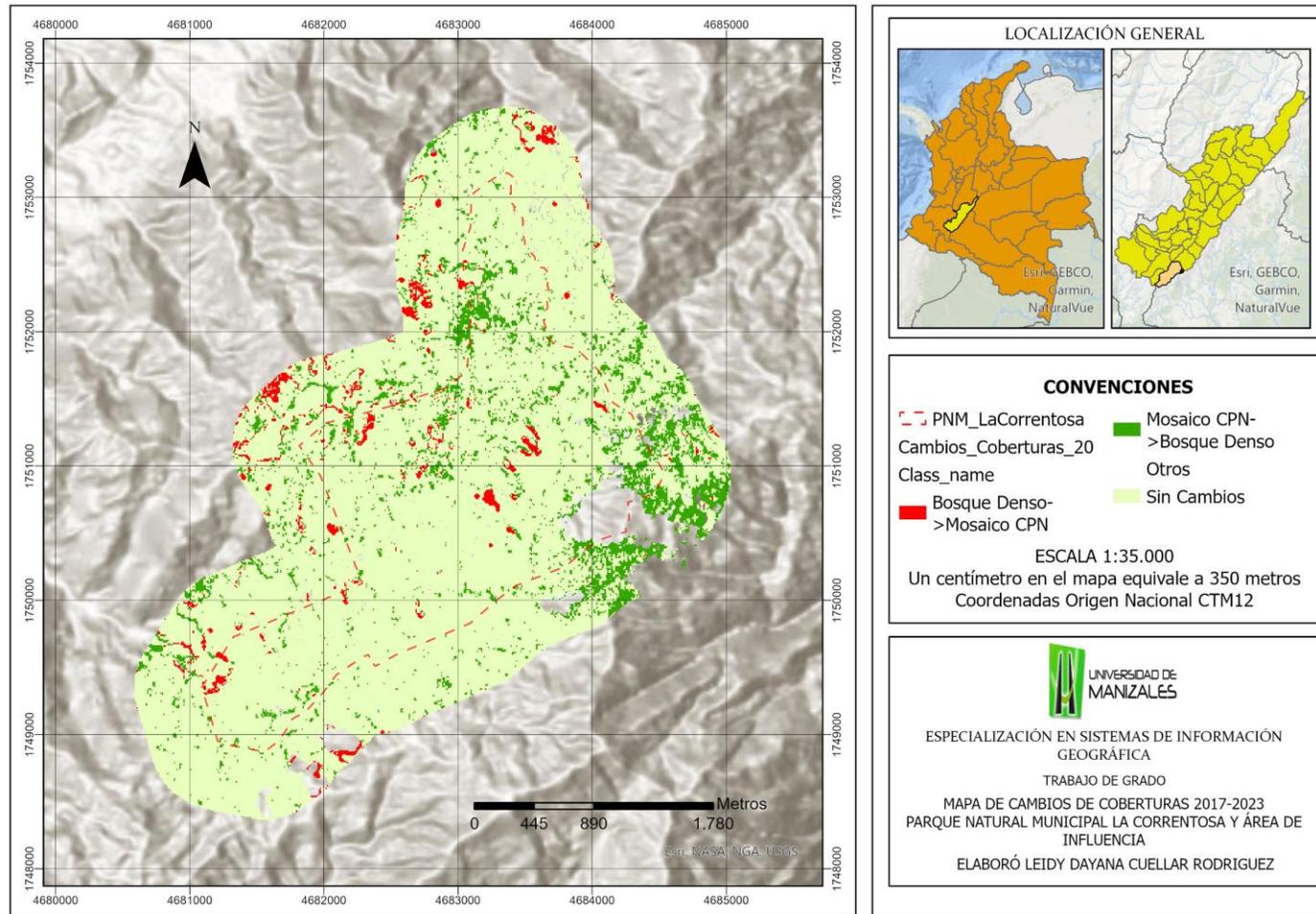
C. Anexo: Mapa de cobertura vegetal año 2023



D. Anexo: Mapa de cambios de cobertura vegetal periodo 2000-2017



E. Anexo: Mapa de cambios de cobertura vegetal periodo 2017-2023



F. Anexo: Mapa de cambios de cobertura vegetal periodo 2000-2023

