



## **Análisis multitemporal de la Dinámica de Cobertura y Uso del Suelo de la Ciénaga de Betancí en el municipio de Montería**

Marelbys Mass Villadiego

Jimmy Ochoa Jaime

Lady Juleitte Páez Guáqueta

Luis Carlos Raciny Alemán

Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Asesor: Jiber Antonio Quintero Salazar, Magíster (MSc) en planificación urbana y regional

Asesores de recursos académicos: Luz Andrea Sepúlveda Escobar (asesora bibliográfica), Claudia Marcela Cerón Rubio (asesora Centro de Escritura) y Elvia Lucía Sánchez García (asesora de integridad académica)

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

2025

---

<b>Cita</b>	(Mass Villadiego et al., 2025)
<b>Referencia</b>	Mass Villadiego, M., Ochoa Jaime, J., Páez Guáqueta, L.J., & Raciny Alemán, L. C. (2025). <i>Análisis multitemporal de la Dinámica de Cobertura y Uso del Suelo de la Ciénaga de Betancé en el municipio de Montería</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Manizales. RIDUM: Repositorio Institucional Universidad de Manizales.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	

---



Especialización en Sistemas de Información Geográfica

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

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

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

**Universidad de Manizales:** [www.umanizales.edu.co](http://www.umanizales.edu.co)

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

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

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

### **Dedicatoria**

A mi padre y madre por inculcarme siempre la lucha por la superación académica, a mi esposo por apoyar todos mis proyectos y acompañarme siempre, a mis hermanos y sobrinos por su amor incondicional.

*Marelbys Mass Villadiego*

A mi madre, cuyo amor, fortaleza y sacrificio hicieron de mi la persona que hoy con orgullo soy. Aunque no te tengo de cuerpo presente para ver este logro, siento tu presencia en cada paso que doy. Este trabajo también es tuyo.

A mi padre, cuya constancia y apoyo inquebrantable han sido mi guía y refugio. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba.

A mis hermanos, compañeros de vida cómplices y apoyo incondicional.

A mi hijo, mi mayor motivación y razón de ser. Este logro es un pequeño paso hacia el futuro que soñamos juntos. Que siempre sepas que todo lo hago por ti, y para demostrarte que con esfuerzo y amor todo es posible.

*Jimmy Ochoa Jaime*

Para ustedes que fueron mi motivación, mi ejemplo y mi apoyo, los que siempre quisieron lo mejor para mí. A ti por seguir siendo mi compañera a la que siempre espero ver y oír a diario, a ti que, aunque ya no estés en este momento, me mostraste el valor del trabajo duro, y a ti, mi motor y combustible desde hace diecisiete años por enseñarme el significado genuino de lo que es el amor. Gracias pa, gracias ma, gracias hijo.

*Lady Juleitte Páez Guáqueta*

A Julieta, que es mi motivación y razón de vivir.

A Jessica por su compañía y comprensión.

A mis padres por inculcarme la importancia de seguir aprendiendo.

*Luis Carlos Raciny Alemán*

### **Agradecimientos**

Los autores expresamos nuestro agradecimiento a nuestros padres y familias quienes nos acompañaron desde el inicio y estuvieron a nuestro lado brindándonos su apoyo.

**Tabla de contenido**

Resumen .....	11
Abstract .....	13
Introducción .....	15
1 Planteamiento del problema .....	17
1.1 Antecedentes .....	22
2 Justificación.....	37
3 Objetivos .....	40
4 Hipótesis.....	41
5 Marco teórico .....	42
5.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG) .....	42
5.2 Base de Datos Geográfica .....	43
5.2.1 Geodatabase (File Geodatabases) Ext. Gdb .....	43
5.3 Ecosistemas Acuáticos y Humedales .....	44
5.3.1 Factores de Presión en los Humedales .....	44
5.4 Análisis Multitemporal en la Evaluación de Ecosistemas .....	45
5.5 Gestión Adaptativa y Conservación de Ecosistemas Vulnerables .....	45
5.6 Análisis de la Calidad del Agua por Medio de Firmas Espectrales. ....	46
5.6.1 Espectro Electromagnético.....	46
5.6.2 Espectro visible. ....	46
5.6.3 Infrarrojo Cercano. ....	46
5.6.4 Infrarrojo Medio.....	46
5.6.6 Reflectividad de las Superficies. ....	47
5.7 Firmas Espectrales.....	47
6 Metodología .....	50

---

6.1 Enfoque Metodológico .....	50
6.2 Tipo de estudio .....	50
6.3 Procedimiento.....	50
6.3.1 Actividades preliminares .....	50
7 Resultados .....	53
7.1 Actividades preliminares.....	53
7.1.1 Fase 1: Recolección de Información.....	53
7.1.2 Fase 2: Descarga de Imágenes utilizadas.....	54
7.1.3 Fase 3: Procesamiento y Análisis de Datos. ....	55
7.2 Proceso metodológico para determinar y analizar cambios en las coberturas y usos del suelo. ....	56
7.2.1 Fase 4: Definición de coberturas.....	56
7.2.2 Fase 5: Clasificación Supervisada. ....	60
7.2.3 Fase 6: Matriz de Confusión. ....	64
7.2.4 Fase 7: Cálculo de Áreas.....	66
7.2.5 Fase 8: Análisis Multitemporal .....	71
7.3 Proceso metodológico para evaluar la calidad del espejo de agua.....	77
7.4 Proceso metodológico para la estructuración de una base de datos geográfica. ....	81
8 Discusión .....	84
9 Conclusiones .....	86
10 Recomendaciones.....	89
11 Referencias .....	92
Anexos.....	98

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> Coberturas del suelo para los años 2010, 2017 y 2024. ....	57
<b>Tabla 2.</b> Coberturas de interés y códigos asignados.....	58
<b>Tabla 3.</b> Visualización de Clasificación Supervisada en Mosaico 2017 sin corrección por Nubes. .....	59
<b>Tabla 4.</b> Resultado de Clasificación Supervisada en Mosaico 2017 con corrección por Nubes...59	
<b>Tabla 5.</b> Descripción gráfica de Filtro Mayoritario.....	64
<b>Tabla 6.</b> Cálculo puntos de Test o Muestreo .....	65
<b>Tabla 7.</b> Conversión de Ráster a Vector.....	66
<b>Tabla 8.</b> Cálculo de Áreas .....	67
<b>Tabla 9.</b> Variación en las Áreas de las Coberturas del Suelo de estudio .....	68
<b>Tabla 10.</b> Análisis de Variabilidad de áreas .....	68
<b>Tabla 11.</b> Resultados Análisis Multitemporal periodos de estudio .....	72
<b>Tabla 12.</b> Cambios en las coberturas del Suelo según resultado del Análisis Multitemporal 2010-2017.....	73
<b>Tabla 13.</b> Cambios en las coberturas del Suelo según resultado del Análisis Multitemporal 2017-2024.....	74

### Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Número de meses al año caracterizados por una grave escasez de agua (relación entre la demanda y la disponibilidad de agua $>1,0$ .....	17
<b>Figura 2.</b> Mapa del grado de transformación de humedales en Colombia. ....	20
<b>Figura 3.</b> Ubicación zona de estudio, en el municipio de Montería, departamento de Córdoba ..	21
<b>Figura 4.</b> Estructura de una geodatabase.....	44
<b>Figura 5.</b> Firma espectral del agua pura sobre las regiones del espectro electromagnético.....	48
<b>Figura 6.</b> Firma espectral del agua pura sobre las regiones del espectro electromagnético.....	49
<b>Figura 7.</b> Descripción del proceso de recolección de información. ....	54
<b>Figura 8.</b> Información de imágenes requeridas .....	55
<b>Figura 9.</b> Imágenes Obtenidas para los años 2010-2017-2024 .....	56
<b>Figura 10</b> Estructura proyecto Clasificación_Supervisada en ArcGis Pro. ....	60
<b>Figura 11</b> <i>Procedimiento de Clasificación Supervisada en ArcGis Pro</i> .....	61
<b>Figura 12.</b> Descripción gráfica de Filtro Mayoritario .....	63
<b>Figura 13.</b> Matriz de Confusión para el año 2017.....	66
<b>Figura 14.</b> Mapa de Clasificación Supervisada Año 2010.....	69
<b>Figura 15.</b> Mapa de Clasificación Supervisada Año 2017.....	70
<b>Figura 16.</b> Mapa de Clasificación Supervisada Año 2024.....	71
<b>Figura 17.</b> Resultado Análisis Multitemporal de la Ciénaga de Betancí, en el periodo 2010 – 2017.....	75
<b>Figura 18.</b> Resultado Análisis Multitemporal de la Ciénaga de Betancí, en el periodo 2017 – 2024.....	76
<b>Figura 19.</b> Proceso de creación de firmas espectrales en Qgis. ....	77
<b>Figura 20.</b> Procesamiento Firma espectral en Qgis.....	78
<b>Figura 21.</b> Firma Espectral 2010 en Qgis.....	78
<b>Figura 22.</b> Creación de firmas espectrales en ArcGis PRO año 2017. ....	79

---

<b>Figura 23.</b> Gráfico de Firma Espectral generado en ArcGis PRO año 2017. ....	79
<b>Figura 24.</b> Creación de firmas espectrales en ArcGis PRO año 2024 .....	80
<b>Figura 25.</b> Creación de firmas espectrales en ArcGis PRO año 2024 .....	80
<b>Figura 26.</b> Red de drenaje Ciénaga de Betanci. ....	81
<b>Figura 27.</b> Estructura de GDB en ArcGis Pro.....	82
<b>Figura 28.</b> Estructura de GDB Final en ArcMAP .....	82
<b>Figura 29.</b> Conexión a GDB final en ArcGis Pro. ....	83

### Siglas, acrónimos y abreviaturas

<b>ACHA</b>	Área de Conservación Hídrica Antisana
<b>CAR</b>	Corporación Autónoma Regional
<b>CIOH</b>	Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe DIMAR
<b>CVS</b>	Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge
<b>DCS</b>	Distrito de Conservación del Suelo
<b>DEM</b>	Modelo Digital de Elevación por sus siglas en inglés.
<b>DIMAR</b>	Dirección General Marítima
<b>DSM</b>	Modelo digital de superficie
<b>GDB</b>	Geodata Base (Base de datos Geográfica)
<b>GNDVI:</b>	Green Normalized Difference Vegetation
<b>IGAC</b>	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
<b>LULCC</b>	Land Use Land Cover Changes Using multitemporal Satellite Imagery
<b>MLC</b>	Algoritmo de Máxima Verosimilitud
<b>NDVI</b> Normalizada)	Normalized Difference Vegetation Index (índice de Vegetación de Diferencia Normalizada)
<b>NDWI</b>	Normalized Difference Water Index
<b>OBIA</b>	Object Based Image Analysis
<b>RUNAP</b>	Registro único Nacional de Áreas Protegidas
<b>SIG</b>	Sistema de Información Geográfica
<b>SINAP</b>	Sistema Nacional de áreas Protegidas
<b>UAV</b>	Unmanned Aerial Vehicle (Vehículo aéreo no tripulado)
<b>UNESCO</b>	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
<b>USGS</b>	United States Geological Survey (Servicio Geológico de los Estados Unidos).

## Resumen

La sobreexplotación de los recursos naturales, su uso inadecuado, así como la relación cada vez más frecuente y destructiva del ser humano con la naturaleza, ha conllevado al deterioro continuo del territorio. Este fenómeno ha generado la necesidad urgente de proteger y conservar las áreas naturales que, por su relevancia ecosistémica, son fundamentales no solo para el equilibrio del territorio, sino a su vez para el bienestar humano.

En respuesta a esta problemática y en cumplimiento de los compromisos adquiridos para la protección de la biodiversidad, Colombia ha implementado mecanismos de conservación de áreas naturales. Estas políticas permiten elevar ciertos territorios a la categoría de áreas protegidas, lo que obliga a los gobiernos nacionales y locales a implementar medidas en pro de la protección de estas zonas, que a su vez contribuye al cumplimiento de los compromisos de conservación. Un claro ejemplo de ello son los humedales, entre los que se encuentran las ciénagas. Tal es el caso de la Ciénaga de Betancí, ubicada en el municipio de Montería, en el departamento de Córdoba, el cual es un referente local para la conservación de ecosistemas acuáticos y su entorno.

La presente investigación tuvo como fin realizar un análisis multitemporal del área natural protegida del Distrito de Conservación de Suelos de la Ciénaga de Betancí, ubicada en el municipio de Montería, departamento de Córdoba, en los periodos 2010-2017 y 2017-2024.

Para esto se usaron imágenes satelitales, que a través de la aplicación de la clasificación supervisada y de firmas espectrales, permitieron evidenciar la variación de la cobertura vegetal del suelo (factor biótico), zonas urbanizadas al interior del área de conservación (factor antrópico) y turbidez del agua (factor abiótico), en los periodos de estudio previo y posterior a la declaratoria de área protegida e implementación del Plan de Manejo Ambiental (PMA), adoptados mediante el Acuerdo de Consejo Directivo No. 351 de fecha 6 de diciembre de 2017 de la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge – CVS.

Con base en la información recolectada y analizada se estructuró una base de datos geográfica (GDB) la cual permitió almacenar de manera organizada la información facilitando su

visualización, consulta y procesamiento a fin de elaborar la cartografía del proyecto, en la cual se observan las coberturas objeto de estudio y sus variaciones.

*Palabras clave:* Biodiversidad, humedales, Ciénaga de Betancí. Plan de Manejo Ambiental, clasificación supervisada, firmas espectrales

## Abstract

The overexploitation of natural resources, their inappropriate use, and the increasingly frequent and destructive relationship between humans and nature have led to the continued deterioration of the territory. This phenomenon has generated an urgent need to protect and conserve natural areas, which, due to their ecosystemic importance, are fundamental not only to the balance of the territory but also to human well-being.

In response to this problem and in line with its commitments to protect biodiversity, Colombia has implemented conservation mechanisms for natural areas. These policies allow certain territories to be designated as protected areas, requiring both national and local governments to implement measures for their protection. This, in turn, contributes to the fulfillment of conservation commitments. A clear example of this is wetlands, including marshes. Such is the case of the Ciénaga de Betancí, located in the municipality of Montería, in the department of Córdoba, which has become a local reference point for the conservation of aquatic ecosystems and their surrounding areas.

The purpose of this research was to conduct a multitemporal analysis of the protected natural area of the Ciénaga de Betancí Soil Conservation District, located in the municipality of Montería, department of Córdoba, focusing on two time periods 2010-2017 and 2017-2024.

Satellite images were used for this study, which, through the application of supervised classification and spectral signatures, revealed variations in ground vegetation cover (biotic factor), urbanized areas within the conservation area (anthropogenic factor), and water turbidity (abiotic factor) during the study periods before and after the declaration of the protected area and the implementation of the Environmental Management Plan (EMP), formalized through Agreement No. 351 dated December 6, 2017, by the board of directors of the Regional Autonomous Corporation of the Sinú and San Jorge Valleys (CVS).

Based on the information gathered and analyzed, a geographic database (GDB) was created, which allowed the organization to store information, facilitating its visualization, query, and

processing. This data was used to create the mapping project, in which the land cover under study and its variations are observed.

*Keywords:* Biodiversity, wetlands, Ciénaga de Betancí. Environmental Management Plan, supervised classification, spectral signatures

## Introducción

El uso y procesamiento de imágenes satelitales, así como la incorporación de herramientas que permitan el análisis geoespacial y su vinculación con los datos, son innovaciones y metodologías que han permitido obtener respuestas en diferentes campos que hacen parte de las dinámicas sociales ya sea hacer análisis multitemporales para determinar fenómenos geológicos, ambientales, climáticos, o bien para obtener información en zonas distantes o de difícil acceso ya sea por su geografía o por sus condiciones sociales o de seguridad.

Tal es el caso del Distrito de Conservación del Suelo (DCS) de la Ciénaga de Betancí en el municipio de Montería, departamento de Córdoba, Colombia, con un área aproximada de trece mil hectáreas (Ha), que cuenta con vegetación, áreas inundables, espejo de agua, entre otras, haciendo de esta, una zona demasiado extensa para ser evaluada por métodos directos. A lo anterior, se suman impactos generados por los grupos armados que hicieron presencia en el lugar entre los años 2000 al 2010, lo que impidió la intervención de las autoridades ambientales, además de la existencia de la ganadería extensiva que es la principal actividad económica no solo de Montería, sino del departamento de Córdoba, y los asentamientos humanos en el área de influencia de la Ciénaga. Estos fenómenos afectaron el equilibrio impactando de manera directa todo el entorno natural, así como a las poblaciones más vulnerables que dependen del recurso del agua y de la pesca para su subsistencia.

Es por lo anterior, que estos recursos resultaron ser la herramienta idónea para analizar un área tan extensa como lo es la Ciénaga de Betancí, permitiendo desde la información, realizar análisis, obtener resultados, y establecer el estado de la Ciénaga previa a su declaratoria de área protegida entre el 2010-2017, y el impacto de la implementación de las medidas de conservación del PMA entre los años 2017-2024.

La importancia del estudio que se presenta a continuación, radica en que incrementa la utilidad del uso de imágenes satelitales y las herramientas SIG para evaluar a partir del análisis multitemporal el impacto de las normas aplicadas para la protección de la Ciénaga de Betancí y así mismo permite prever el futuro de este Distrito de Conservación del Suelo.

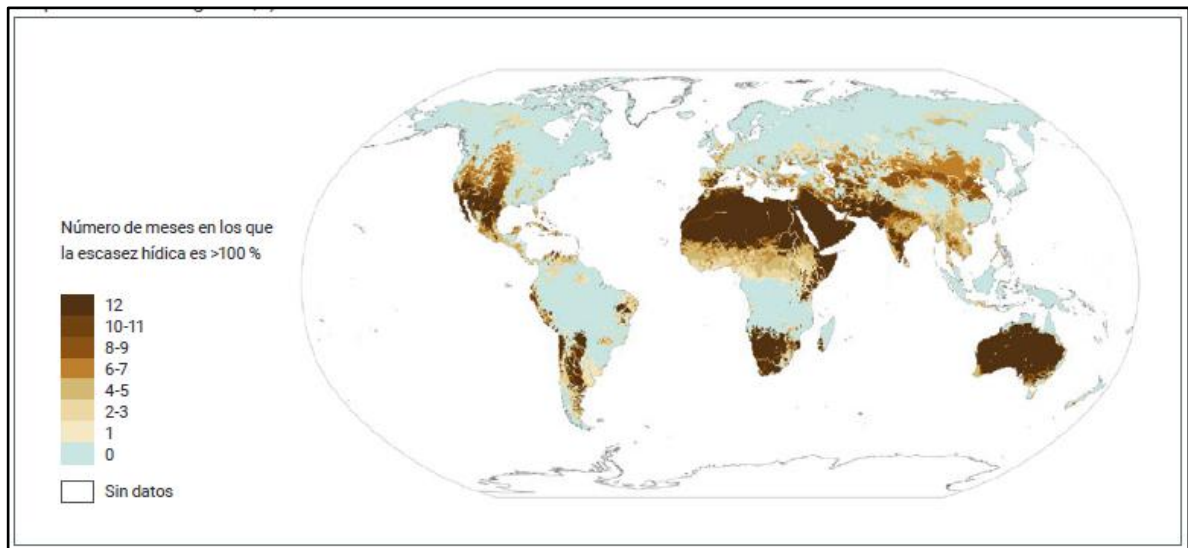
Teniendo en cuenta lo anterior, la presente investigación cuyo objetivo general es realizar análisis multitemporal de la Dinámica de Cobertura y Uso del Suelo del Distrito de Conservación de Suelos (DCS) Ciénaga de Betanci en el municipio de Montería entre los periodos 2010-2017 y 2017-2024, y a partir de esto analizar los cambios en estas, así como los usos del suelo asociados a las coberturas presentes. Asimismo, a partir de firmas espectrales se analizó el estado de turbidez del agua de la ciénaga, la información producto de los procesos realizados para el logro de los resultados se almacenó de manera organizada en un GDB Geográfica diseñada en Software SIG.

## 1 Planteamiento del problema

De acuerdo con la UNESCO (2024), casi la mitad de la población mundial sufre una grave escasez de agua durante al menos una parte del año (IPCC, 2023). Mientras que algunas zonas enfrentan escasez de agua unos pocos meses al año, otras padecen una grave escasez durante todo el año (Figura 1). Una cuarta parte de la población mundial, que vive en 25 países, se enfrenta a niveles basales extremadamente altos de estrés hídrico y utiliza más del 80% de su suministro anual de agua dulce renovable.

### **Figura 1.**

*Número de meses al año caracterizados por una grave escasez de agua (relación entre la demanda y la disponibilidad de agua  $>1,0$ )*



Nota. Fuente: Caretta et al. (2022) citado por Unesco 2024.

A lo anterior se le suma que las reservas mundiales de agua dulce están disminuyendo. GREENPEACE señala que desde mayo de 2014 a la actualidad se registró una caída abrupta de la cantidad total y estos números no se han recuperado. Por el contrario, se han mantenido bajos desde entonces.

Según GREENPEACE lo anterior se obtiene de las observaciones a través de satélites alemanes de la NASA realizadas por un equipo internacional de científicos los cuales confirmaron

que entre los años 2015 y 2023 hay 1.200 kilómetros cúbicos menos de agua almacenada en nuestro planeta que en el período anterior (2002 a 2014).

Por esto, hoy a nivel global se está padeciendo de una crisis hídrica que afecta considerablemente la calidad de vida de la población mundial, a consecuencia de la disminución y el deterioro de los diferentes cuerpos de agua dulce como ríos, humedales, acuíferos, aguas subterráneas y ciénegas.

Por otro lado, según Finlayson. et al. (2005), los ecosistemas de humedales continentales y costeros estaban desapareciendo a un ritmo mayor que el de ningún otro ecosistema, y desde entonces no se ha invertido la tendencia hacia la pérdida de los recursos de los humedales. Se ha determinado que los motores indirectos principales de esta degradación y pérdida son el aumento de la población y el cambio en las actividades económicas, mientras que los principales motores directos son el desarrollo de infraestructuras, la conversión de tierras, el uso del agua, la eutrofización y contaminación, la extracción excesiva, la sobreexplotación de los recursos de los humedales, el cambio climático y las especies exóticas invasoras.

Como resultado de lo anterior, diversos estudios señalan que en los últimos tres siglos la pérdida de humedales ha sido enorme, por ejemplo, Davidson (2014) señala que la pérdida a largo plazo de los humedales naturales oscila entre un 54 % y un 57 % pero la pérdida puede haber alcanzado hasta un 87 % desde el año 1700 d.C. La tasa de pérdida de los humedales ha sido mucho más rápida (3,7 veces mayor) durante el siglo XX y a principios del siglo XXI, con una pérdida de entre el 64 % y el 71 % de los humedales desde 1900.

De igual forma Fluet-Chouinard (2022), señala que entre 1700 y 2020, 3.4 millones de km<sup>2</sup> (intervalo de confianza 2,9-3,8) de humedales continentales se han perdido desde 1700, principalmente por la conversión a tierras de cultivo. Esta pérdida neta del 21% (intervalo de confianza 16-23%) del área global de humedales es menor que la sugerida previamente por extrapolaciones de datos, indicando además que esta disminución se ha producido principalmente en Europa, China, los Estados Unidos de América y la India.

En Colombia la situación de los humedales no es ajena a lo anteriormente descrito, de acuerdo al Instituto Humboldt<sup>8</sup>, en el país, los humedales cubren el 26 % del territorio continental clasificados en cinco categorías: permanente abierto (8 %), permanente bajo dosel (5 %), temporal (58 %), potencial bajo (12 %) y potencial medio (16 %) <sup>2</sup>. En promedio, el 75 % de los humedales están conformados por coberturas naturales<sup>2</sup> (bosques, herbazales, arbustales y cuerpos de conservación; sin embargo, aproximadamente el 88 % de los humedales del país no se encuentran bajo figuras de protección.

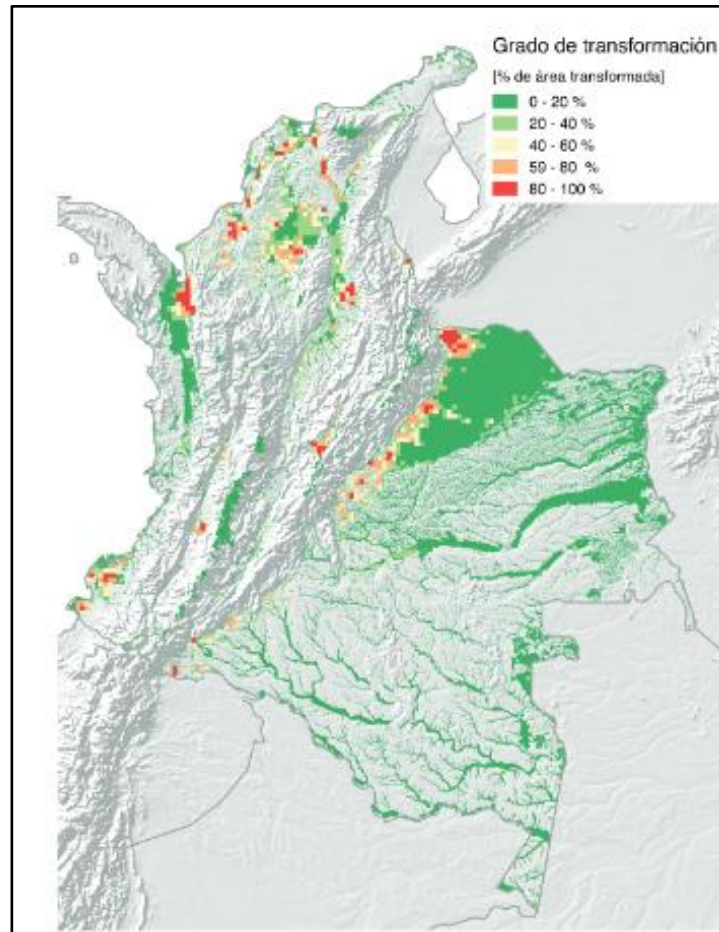
Asimismo, Rodríguez (2017), señala que dentro de los principales factores que afectan a los humedales se tienen en un 51.7% los procesos urbanísticos, en un 17.2% el vertimiento de aguas residuales, en un 13.7% la actividad agrícola y en un 10.3% el vertimiento de residuos sólidos. En cuanto a las problemáticas más frecuente la contaminación hídrica aparece en un 43.3%, seguida de cambio en la dinámica hídrica, desecación del humedal y aparición de especies invasoras, todos estos con un porcentaje igual a 17.2%, situaciones que han conllevado a la transformación de los humedales en Colombia.

De acuerdo con el mapa elaborado por Patiño (2016) dentro del estudio denominado Análisis espacial cuantitativo de la transformación de humedales continentales en Colombia, los humedales que muestran mayor incidencia de este fenómeno se encuentran en la zona del piedemonte llanero, en la cuenca del Magdalena-Cauca y en la costa Caribe.

A causa de todo lo anterior, los humedales en Colombia se pierden a gran velocidad a tal punto que en menos de 150 años Colombia ha perdido el 64% de estos cuerpos de agua, tal como reseñó con base en un estudio realizado por el Fondo Mundial para la Naturaleza la emisora la FM en el año 2021 en su página web.

**Figura 2.**

*Mapa del grado de transformación de humedales en Colombia.*

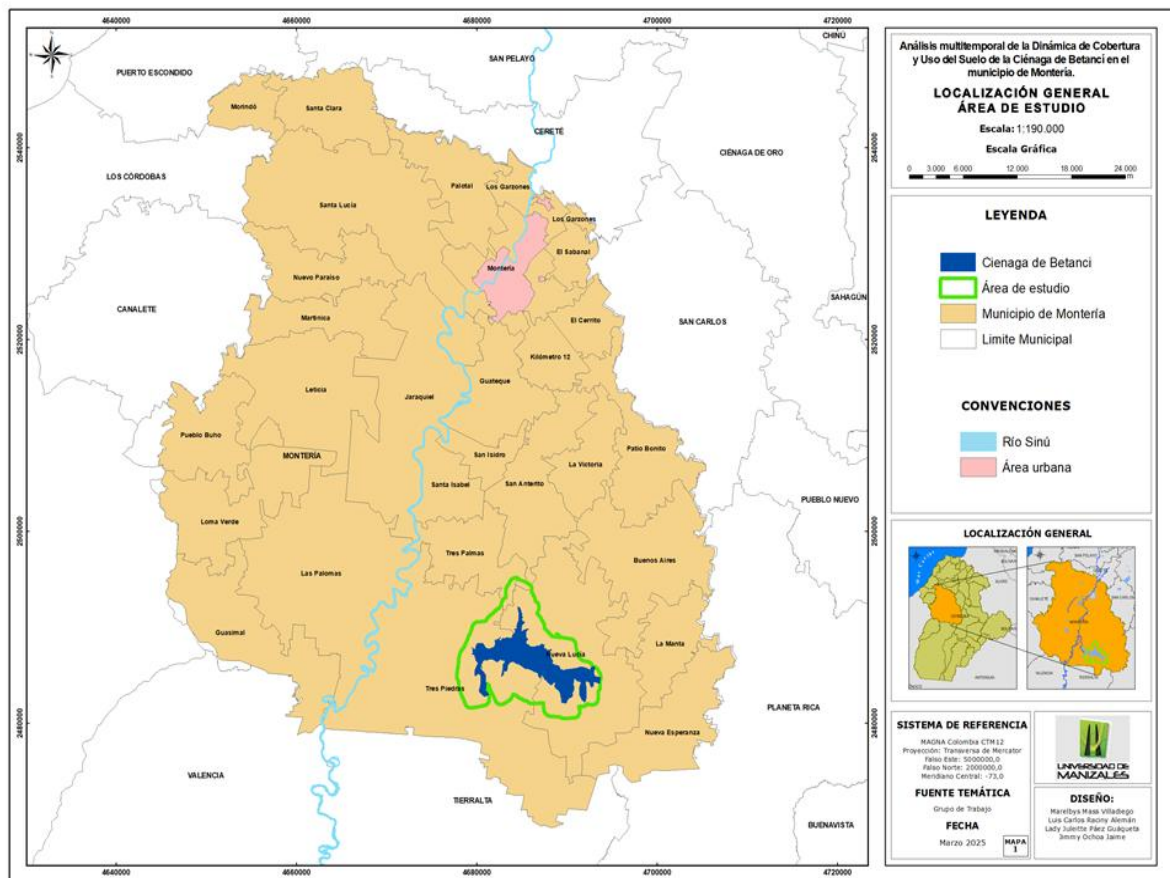


Nota. Fuente Patiño (2016)

Un caso específico de todo lo dicho hasta ahora es el Distrito de Conservación de Suelo (DCS) de la Ciénega de Betancí ubicada en el departamento de Córdoba, en la zona rural del municipio de Montería, entre las coordenadas geográficas 8°25'06.83" y 8°20'46.71" N y 75°53'04.91" y los 75°48'18.63" O; esta presenta una extensión aproximada de 1.627 has en espejo de agua y 974 has en zona de playones, se localiza sobre la margen derecha del río Sinú, en una depresión que lleva el mismo nombre y formada por las serranías de San Jerónimo y Abibe.

**Figura 3.**

*Ubicación zona de estudio, en el municipio de Montería, departamento de Córdoba*



Nota. Fuente propia

Este humedal a consecuencia de una serie de intervenciones antrópicas tales como construcción de infraestructura, adecuación de terrenos para la agricultura y ganadería enfrenta conflictos ambientales que afectan significativamente la calidad del agua del humedal y su área de influencia, tal como afirma Cárdenas Angulo (2020) que la dinámica de la Ciénaga de Betanci ha tenido un comportamiento diferente respecto a otros cuerpos de agua que tienden a desaparecer a través de los años, esto principalmente a la construcción del dique en el caño de Betanci de manera ilegal afectando la dinámica natural de la ciénaga. Por su parte la CAR-CVS afirma lo siguiente.

La construcción del dique “la tapa” en el año 2001, produjo la disminución significativa en la estructura y función del humedal debido a que la interrupción en el flujo hídrico altero las condiciones de saturación del suelo y la zona potencial de inundación CVS (2016).

Estos factores impactan directamente en las funciones ecosistémicas de estos valiosos entornos, que cumplen un papel fundamental como fuente de alimento y refugio para numerosas especies, así como de agua y sustento para las comunidades a su alrededor. Es así como la necesidad de mantener estos entornos permite declarar el humedal y su influencia como área protegida de orden nacional, la CVS (Corporación Autónoma regional de los valles del Sinú y del San Jorge), realizó el Plan de Manejo de la Ciénaga de Betanci en el año 2014 y mediante Acuerdo 351 de 2017 se declara “Distrito de Conservación de Suelos de la Ciénaga de Betanci y se dictan normas para su administración y manejo sostenible”.

Por todo lo anterior, y tomando como referente la iniciativa de las CAR de proteger la Ciénaga de Betanci desde el año 2017, es interés del estudio responder los siguientes interrogantes.

¿Cuáles son los cambios en las coberturas y usos del suelo del entorno natural de la Ciénaga de Betanci mediante imágenes satelitales en los periodos comprendidos entre 2010-2017 y 2017-2024?

¿Cómo es la calidad del espejo de agua de la Ciénaga en cuanto al estado de turbidez?

## **1.1 Antecedentes**

Entre los antecedentes más recientes relacionados con el objeto de estudio, en especial con el cambio climático, es posible encontrar la investigación de Suarez (2019) en donde se analizaron las acciones humanas en concordancia con las afectaciones a la vegetación, las variables climáticas y el régimen hidrológico en la cuenca del río Canalete, Córdoba. Para esto, se utilizó la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, con imágenes satelitales para evaluar los cambios en la cobertura vegetal (pastos, bosques, vegetación secundaria) entre 1972 y 2017.

Así mismo, el análisis incluyó variables como la evapotranspiración potencial, humedad, temperatura y precipitación. Los resultados mostraron un aumento del 392,5% en el área de pastos, mientras que los bosques y la vegetación secundaria disminuyeron un 62,1% y un 44,6%, respectivamente. Además, la temperatura media subió 1,84°C y la evapotranspiración potencial

aumentó en 7,9 mm. Por otra parte, las correlaciones indicaron que el incremento de pastos se asoció positivamente con la temperatura, evapotranspiración y humedad, mientras que los bosques presentaron una correlación negativa.

En cuanto a caracterizaciones específicas de la Ciénaga, se destaca el estudio de Londoño et al. (2020) la cual tuvo como objetivo analizar el territorio de la Ciénaga de Betancí en Montería, Colombia, a través de una caracterización socioeconómica y ambiental basada en cuestionarios y análisis estadísticos. Para esto, se identificaron los principales actores y conflictos que han transformado el humedal, destacando la ganadería y la manipulación hidrológica como los factores más influyentes. En esta investigación, se obtuvo un análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat de 1980, 1990, 2000 y 2018, con ayuda de la metodología Corine Land Cover, lo cual permitió observar los cambios en la cobertura del suelo y la transformación del paisaje con el modelo matriz, parche y corredor. Se concluyó que la ciénaga se ha convertido en un reservorio de agua, perdiendo casi por completo su cobertura natural.

En el año 2022, Galván realizó un análisis multitemporal hidrológico de la Ciénaga de Betancí con ayuda de imágenes de satélites en un periodo comprendido entre 1985-2020. Para esto, se emplearon imágenes satelitales Landsat y una combinación de bandas para visualizar y digitalizar el espejo de agua, identificando así las áreas ocupadas por el cuerpo léntico en diferentes años. De esta manera, fue posible identificar que las intervenciones humanas, como la construcción del dique "La Tapa" en 2001, alteraron la dinámica natural de la Ciénaga de Betancí, afectando su espejo de agua y su conexión con el río Sinú. A través de imágenes satelitales y herramientas geoespaciales, se analizó la variación del espejo de agua y las áreas de desecación, relacionadas con el uso agrícola y ganadero. La alteración del flujo hídrico ha afectado los procesos de migración y reproducción de especies acuáticas, además de causar degradación en el ecosistema.

Un año después, Reyes (2023) analizó el Complejo Cenagoso Zapatosa, ubicado en los departamentos de Cesar y Magdalena, durante los periodos de lluvia y sequía de 2015-2017 y 2021. Este ecosistema, reconocido como uno de los más importantes del Caribe Colombiano, ha sido afectado por intervenciones humanas que alteran el flujo de agua entre corrientes y ciénagas, provocando inundaciones en épocas de lluvia y escasez de agua en época seca, de ahí el interés en

la investigación. Para llevar a cabo el proyecto, se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8 y software como ERDAS IMAGINE y ArcGIS Pro para procesarlas y realizar un análisis comparativo. En la época de lluvias, el área cubierta por agua aumentó de 34.682 ha en 2015 a 50.760 ha en 2017, pero disminuyó a 46.646 ha en 2021. Por otro lado, en la época seca, el área pasó de 29.768 ha en 2015 a 37.084 ha en 2017, y luego a 34.285 ha en 2021.

Referente a estudios sobre la aplicación de modelos de bases de datos geográfica (GEODATABASE), el artículo publicado en el Boletín Científico CIOH, titulado Modelo geodatabase en la estructuración y almacenamiento de información espacial para la administración y control del litoral Caribe colombiano realizado por la DIMAR.

En este artículo de investigación (Gómez et al, 2009, p 135) indica que se presentan los resultados de la utilización del modelo de datos denominado Geodatabase en la estructuración y almacenamiento de la información espacial de los litorales del municipio de Cartagena de Indias, isla Tierra Bomba, golfo de Morrosquillo y entre el tajamar occidental del río Magdalena y Puerto Velero durante los años 2007 y 2008 en el Caribe colombiano.

Los resultados obtenidos fueron una GEODATABASE estructurada la cual permitió almacenar información espacial de los bienes de uso público para facilitar a la entidad la administración y control de estos. El uso de la GEODATABASE “permitió estructurar, almacenar y cuantificar información espacial de 303.44 kilómetros de línea de costa, 1512.31 hectáreas correspondientes a zonas de playa y 10469.50 hectáreas de terrenos de bajamar”.

Un estudio importante para mencionar, es el de la autoría de Ávila, D. D. (2015), titulado Análisis multitemporal de imágenes Landsat para evaluar las variaciones de la cobertura vegetal emergente en la laguna Leonero, Granma, Cuba / Multitemporal Landsat image analysis to assess variations in emergent vegetation cover in Leonero lagoon, Granma, Cuba, estudio realizado a partir de imágenes Landsat entre los años 1978 y 2012, las cuales fueron estandarizadas (repixelado a una resolución espacial única de 30 m), corregidas y recortadas al área de estudio, a partir de estas el autor realizo el método de clasificación supervisada para identificar la extensión y distribución de la cobertura acuática.

Los resultados obtenidos fueron que entre los años 1978 y 2011 la cobertura de la laguna mostro un comportamiento variable entre un 54 % y un 86 % de la superficie, la extensión de la

vegetación continua para los años 1980 varió entre el 85.6% y para 1989 varió 99.9% de la superficie total y para la década del 2000 la vegetación emergente ha constante en un 98.9%.

El artículo titulado Análisis multitemporal de la deforestación usando la clasificación basada en objetos, distrito de Leymebamba (Perú), realizado por Mendoza Chichipe, Miguel Enrique Martínez et al. (2017), en este se hace un análisis multitemporal para determinar los cambios en la cobertura de los bosques entre los años 1987 y 2016, causados por la deforestación en el distrito de Leymebamba Perú, utilizando imágenes LANDSAT TM-OLI, para lo cual hicieron corrección geométrica procesamiento digital de imágenes de Clasificación basada en objetos (OBIA), lo cual permitió identificar las clases de cobertura utilizado la metodología CORINE Land Cover y obtuvieron como resultado que entre 1989 la cobertura de bosque era densa y sin perturbaciones, y para 1998 presentaron una disminución de 2364,58 ha; para el año 2007, esta clase de cobertura mostro un área de 12381,01 ha, con una pérdida de 313,48 ha, en al año 2016, la cobertura boscosa presentó una extensión de 11856,81 ha, con la pérdida 524,2 ha, permitiendo ver que entre 1989 y 2016 la perdida de cobertura de bosques fue de 3202,26 ha, con una tasa de 118,6 ha/año.

Esta investigación permite concluir que a partir de análisis de imágenes basado en objetos se puede obtener información de la cobertura de la tierra con un gran nivel de precisión y rapidez y al utilizar imágenes de alta resolución se aseguran mejores resultados.

El estudio titulado Monitoreo multitemporal del humedal Pugllohuma, perteneciente al Área de Conservación Hídrica Antisana (ACHA), por medio de imágenes capturadas desde una aeronave no tripulada de ala fija (UAV) realizado por Salgado Rodríguez, E.F (2023) este hace un análisis multitemporal entre índices espectrales, mapas topográficos y datos de campo, para evaluar es estado del humedal Pugllohuma, para esto el autor menciona que se realizó partir de imágenes tomadas con dron ala fija equipado con sensor multiespectral. Esto permitió realizar un modelo digital de superficie (DSM) para el estudio de la topografía del terreno, los índices de vegetación para evaluar la salud de la cobertura vegetal del humedal, encontrando que se encontró que por cada incremento unitario en el valor de NDWI, se observa un aumento correspondiente en los niveles freáticos, con coeficientes de 1424, 2356, 2132 para cada mes analizado y un promedio

general de 1971, demostrando la importancia de aplicar estas tecnologías en diferentes tipos de estudios.

Otro estudio que se puede mencionar es el titulado Análisis espectral y multitemporal de modificaciones en el uso del suelo y calidad del agua en el Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta de Rico Traslaviña, J. (2023). En este se realiza un análisis para evaluar si se está conserva el ecosistema con la ayuda de imágenes satelitales Landsat en el programa ArcGIS, mediante la aplicación de índices espectrales y clasificación supervisada.

Para identificar las coberturas de manglares y otras presentes realizaron clasificación supervisada para 5 periodos de estudio, obtuvo como resultado que la cobertura de manglares ha disminuido a raíz de las actividades humanas tal como la agricultura, así mismo, se evidencio que ha presencia de construcciones, cuerpos de agua con sedimentos y eutrofizados la cual presentó incremento continuo en los diferentes años de estudio, es así que, La cobertura de manglares presentó dos variaciones, primero un aumento de 17000 has entre 1997 y 2008, y después, disminuyó de alrededor de 16000 has entre 2008 y 2022.

En 2013 en el estudio titulado “Análisis geoespacial de la interacción entre el uso de suelo y de agua en el área peri-urbana de Cuauhtémoc, Chihuahua” (Díaz Caravantes et al., 2014), se analiza la dinámica del cambio de uso y cobertura del suelo en el contexto de la competencia por el recurso hídrico en una región árida del norte de México. Mediante el uso de percepción remota en la cual el área de estudio quedo contenida en dos imágenes adyacentes, lo cual hizo necesario armar mosaicos con ambas escenas, se realizó un re-muestreo a 30 m y corrección geométrica de ambas escenas, a fin de co-registrarlas en el mismo espacio geográfico, y reducir los errores de comparación multitemporal, los autores identifican que entre 1993 y 2010 se produjeron transformaciones significativas en el paisaje peri-urbano, destacándose la expansión del suelo urbano, el crecimiento sostenido de las huertas de manzana y la conversión de áreas de agricultura de temporal en pastizales, asociada al abandono de tierras agrícolas. Estos cambios se vinculan directamente con la sobreexplotación del agua subterránea y la intensa competencia entre usos urbano y agrícola, donde los sectores con mayor capacidad económica logran mantener y expandir sus actividades, mientras que los más vulnerables reducen su producción. Este trabajo evidencia que el cambio de uso y cobertura del suelo en zonas peri-urbanas no responde únicamente a la

expansión física de la ciudad, sino también a dinámicas socioeconómicas y ambientales complejas centradas en el acceso y disponibilidad del agua, lo que subraya la necesidad de integrar variables hídricas en los análisis de transformación territorial.

En el año 2016 en el estudio “Monitoreo de cambios en la densidad de cobertura forestal en bosque templado usando fotografías aéreas digitales de alta resolución” (López García et al., 2016), se analiza el cambio en la cobertura del suelo, específicamente en la densidad del dosel forestal, en la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBBM) entre 1999 y 2011. Mediante el uso de fotografías aéreas digitales de pequeño formato y técnicas de fotointerpretación georreferenciada, los autores identifican procesos de degradación y deforestación en el bosque templado, asociados principalmente a actividades humanas como la tala ilegal y la expansión agrícola. Los resultados muestran que, aunque la deforestación manifiesta fue limitada (19 ha clasificadas como deforestadas), los procesos de degradación —reflejados en la transición de bosque cerrado a coberturas más abiertas— fueron más extensos y preocupantes, indicando una pérdida progresiva de la calidad del bosque. Este trabajo subraya la importancia de monitorear no solo la pérdida absoluta de cobertura forestal, sino también los cambios sutiles en la densidad del dosel, ya que estos son indicadores tempranos de deterioro ecosistémico, cruciales para la conservación de hábitats clave como los santuarios de la mariposa monarca.

En el año 2015, en el estudio “Análisis multitemporal del uso y cobertura del suelo mediante teledetección y SIG: caso de estudio, municipio de Danlí, El Paraíso, Honduras” (Rejas et al., 2015), se evalúa la dinámica del cambio de uso y cobertura del suelo entre 1987 y 2011 en un contexto rural y periurbano del oriente de Honduras, utilizando imágenes satelitales Landsat y técnicas de clasificación digital. Los resultados indican que, aunque no se han producido transformaciones drásticas en la cobertura forestal, sí se observan cambios significativos asociados a la expansión de áreas agrícolas, el crecimiento urbano desordenado y la deforestación selectiva, especialmente en zonas de bosque de coníferas y bosque mixto. Mediante la aplicación de algoritmos no supervisados (K-Means e ISODATA) y análisis de matrices de cambio, los autores identifican procesos de conversión de bosques en áreas de cultivo y suelo desnudo, así como una tendencia al abandono de tierras agrícolas que derivan en vegetación secundaria. El estudio destaca la utilidad de los sistemas de información geográfica y la teledetección para monitorear la dinámica

territorial en regiones con escasa planificación urbana y rural, subrayando la necesidad de integrar estas herramientas en políticas de ordenamiento territorial que promuevan el desarrollo sostenible en zonas vulnerables.

En el estudio “Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas en la microcuenca Las Minas, corregimiento de La Laguna, municipio de Pasto, Nariño” (Muñoz Guerrero et al.), se evalúa la transformación del uso y cobertura del suelo durante un periodo de 19 años (1989–2008), con el fin de aportar información para el desarrollo sostenible de la región. Mediante el uso de imágenes satelitales, fotografías aéreas y herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), los autores identifican una marcada tendencia hacia la deforestación y la conversión de áreas boscosas en tierras para agricultura y ganadería. Los resultados muestran una disminución de 58,51 hectáreas de bosque secundario, lo que equivale a una tasa promedio de deforestación de 3,08 hectáreas por año, asociada principalmente a prácticas agrícolas inadecuadas, expansión ganadera y desarrollo territorial no planificado. Paralelamente, se observa un aumento sostenido en las coberturas de pastos naturales y cultivados, así como un crecimiento significativo de las áreas dedicadas a cultivos, que pasaron de 7,41 ha en 1989 a 28,13 ha en 2008. Este proceso de transformación evidencia una intensa presión antrópica sobre los ecosistemas naturales, lo que ha generado impactos ambientales y sociales que afectan tanto al corregimiento de La Laguna como a la ciudad de Pasto, subrayando la necesidad urgente de implementar planes de ordenamiento territorial y manejo sostenible de cuencas hidrográficas.

Para el año 2017 con el estudio “Análisis multitemporal por teledetección de coberturas para las veredas Las Palmas y Pantanillo del municipio de Envigado, Antioquia” (Alzate Giraldo, 2017), se caracteriza y evalúa la evolución del uso y cobertura del suelo entre 1997 y 2016 en un área periurbana del Valle de Aburrá, mediante el análisis de imágenes satelitales Landsat y técnicas de clasificación supervisada. Los resultados muestran que, aunque el uso agrícola expresado principalmente en pastos ha predominado durante todo el periodo, se han registrado transformaciones significativas asociadas a la expansión de la cobertura antrópica (asentamientos y construcciones) y a la dinámica de los bosques. Entre 1997 y 2016, el área de cobertura antrópica aumentó de 18,03 ha a 737 ha, evidenciando una intensa presión urbanística, mientras que el bosque presentó fluctuaciones, con una recuperación notable en años recientes (de 1171,60 ha en 1997 a

2677 ha en 2016), posiblemente asociada a procesos de regeneración natural o esfuerzos de conservación. El estudio destaca la utilidad de la teledetección para monitorear cambios territoriales en zonas de transición rural-urbana, y subraya la necesidad de articular políticas de ordenamiento territorial que equilibren el desarrollo urbano con la conservación de los ecosistemas estratégicos en el contexto de la expansión metropolitana.

El objetivo del trabajo realizado por Martínez (2021), “ Análisis multiespectral para la estimación de sedimentos en la cuenca baja del Río Dagua en los años 1986, 2019 y 2020” es el de observar cómo ha sido el cambio en la cuenca baja del Río Dagua, para los años 1986, 2019 y 2020, este ejercicio se realizó midiendo los valores de píxeles a lo largo del río, desde la altura del corregimiento de Zaragoza hasta su desembocadura en la bahía de Buenaventura, según el autor básicamente lo que se quería era reconocer el comportamiento de la curva espectral con respecto a la media de los valores de los píxeles en cada imagen lo que permitió registrar zonas con mayor probabilidad de sedimentación y otros en cada año y su distribución espacial en cada imagen analizada.

Como resultado se pudo determinar que las firmas espectrales permitieron hacer una evaluación del estado de la cuenca baja del Río Dagua para los años seleccionados. El año 1986 presenta condiciones de agua casi clara, sin embargo, hay sedimentos en baja concentración debido a que los ríos son sistemas dinámicos y esto genera algún tipo de partículas en suspensión en el agua, pero en general se evidencia un buen estado en el río, mientras que para el año 2019 se observa un comportamiento espectral similar al del agua turbia indicando que, en este año, además del aumento de actividades de minería ilegal el agua presentaba materiales que afectaban su comportamiento normal. Para el año 2020, las condiciones del agua empeoraron ya que hay un aumento de la reflectividad en las bandas de los infrarrojos lo que indica turbidez del agua, sin embargo, si bien se detecta esta alteración no se puede determinar cuál es la sustancia o partícula que genera este fenómeno.

En el estudio “Análisis espectral y multitemporal de modificaciones en el uso del suelo y calidad del agua en el sistema delta estuarino del Río Magdamena, Ciénaga Grande de Santa Marta”, de acuerdo con el autor Rico Traslaviña, J. (2023), el principal objetivo de este estudio multitemporal y espectral es monitorear las variaciones en el uso del suelo del Sitio Ramsar Delta

estuarino del río Magdalena Ciénaga Grande de Santa Marta, el cual se efectuó a través de imágenes satelitales de Landsat con ayuda del programa de ArcGIS. De esta manera, se realizaron índices espectrales como NDVI, NDWI, NDMI y GNDVI para analizar las condiciones en la vegetación y la calidad del agua. Adicionalmente, se utilizó la clasificación supervisada para identificar los manglares y otros tipos de vegetación, así como para detectar las actividades humanas en la zona de estudio, cuantificando los cambios de área en el uso y cobertura del suelo, ejecutado para 5 periodos. Los resultados mostraron que la cobertura de manglares ha disminuido en la zona de estudio debido a actividades humanas, tales como construcción de infraestructuras y tala de bosques, adecuándolos a diferentes explotaciones, principalmente agricultura. De igual forma, se encontró que la calidad del agua ha disminuido en los últimos años, por procesos de sedimentación y eutrofización. Este estudio pudo identificar las variaciones en el tiempo de las principales coberturas del suelo e identificar su uso, lo cual permitió cuantificar el área de manglar y las principales actividades humanas desempeñadas en la zona. Los resultados indicaron que la cobertura de manglares se ha menguado y que la calidad del agua ha disminuido debido a la actividad humana. Los resultados de este estudio suministran información fundamental que puede repercutir en la toma de decisiones, y por consiguiente en la implementación de políticas tendientes en proteger la biodiversidad y la calidad del agua en un sitio Ramsar.

En el año 2025 la investigación adelantada por Fuentes Delgado, J. E., & Santana Rodríguez, L. M. (2025), “Estudio de los glaciares tropicales de Colombia (2010-2023) utilizando herramientas geoespaciales”, publicada en la Revista De Geografía Norte Grande, perteneciente al Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, analiza los cambios que han tenido los glaciares tropicales en Colombia a consecuencia de las debido a las altas temperaturas y variables precipitaciones. Para lo cual, según los autores para monitorear estos cambios, se utilizaron datos multiespectrales de alta resolución de las constelaciones Rapid Eye (2010-2016) y PlanetScope (2017-2023), junto con la herramienta de Deep Learning Segment Anything Model. Se utilizaron 214 imágenes multiespectrales libres de nubes de alta resolución adquiridas del sistema Explorer de la empresa Planet Labs Inc.

Como resultado de dicho trabajo se pudo determinar que a lo largo de un periodo de trece años, se ha observado una clara tendencia lineal hacia la reducción del área de los

glaciares colombianos, como se esperaría debido al impacto del cambio climático en la disminución anual de las masas glaciares tropicales a nivel global, de igual forma se pudo determinar una variación en la altitud de los glaciares donde Los mayores retrocesos altitudinales se observan en la Sierra Nevada de Santa Marta, alcanzando los 5169 msnm, seguido por el Nevado del Ruiz con 5163 msnm, el Nevado del Tolima con 5134 msnm y el Nevado del Huila con 5125 msnm. En el caso del Nevado del Huila, este experimentó erupciones volcánicas en 2008 que condujeron a la pérdida completa de su cobertura glaciar.

El estudio “Análisis multiespectral para la estimación de la turbidez como indicador de la calidad del agua en embalse del estado de Chihuahua, México” adelantada por Álvarez, et al (2019), y publicada en la revista Geográfica de América Central, perteneciente a la Universidad Nacional de Costa Rica, analiza la calidad de las aguas de la cuenca del río Conchos, situada en el Estado de Chihuahua (México), para lo cual se llevó a cabo el análisis de una serie de variables de las aguas de los embalses de la presa de Las Vírgenes, el lago Colina y la presa la Boquilla, tales como temperatura, oxígeno disuelto, PH entre, turbidez, entre otros, las cuales junto con la información espectral obtenida de imágenes del satélite Landsat 5 permitió realizar la evaluación de 30 modelos de regresión lineal de los cuales, esto con el fin de determinar el origen de los factores que han influido en el deterioro del agua de los embalses examinados, así como elaborar y aplicar un modelo empírico predictivo que permita evaluar la calidad del agua a través de la estimación de la turbidez y de imágenes del satélite Landsat 5.

Los resultados obtenidos en los análisis de agua de los embalses estudiados permitieron determinar que las variables que más influyen en el detrimento de la calidad hídrica son la turbidez, el pH y el NO<sub>3</sub>. La degradación de estas aguas está relacionada con los procesos de deforestación, el incremento de la actividad agrícola y el desarrollo urbano que ha experimentado el entorno de estas presas. Razón por la cual señalan que, es fundamental la identificación de las causas que originan los procesos de erosión, así como el emprendimiento de actividades de restauración y conservación de suelos de manera integral en toda la cuenca. También es importante un cambio en los manejos agrícolas, que por el efecto pernicioso del uso de productos agroquímicos y por los lixiviados tóxicos contaminan las aguas superficiales, al igual que la aplicación de mejoras en los sistemas de gestión integral en el tratamiento de aguas residuales urbanas.

Ya en el año 2022 investigación adelantada por Puertas Olga, Paz María, Barría Jessica, Lizama Tomas, Jiménez Héctor, “Detección de cambios a largo plazo con análisis multiespectral en la vegetación azonal hídrica altoandina: caso de estudio Salar Michincha, 1985-2019”, publicada en el año 2022 en la Revista de Geografía Norte Grande perteneciente al Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, tuvo como objetivo principal describir cambios espaciotemporales en la fisionomía de un humedal con variaciones en el suministro hídrico. Para tal fin, se desarrolló un modelo basado en percepción remota de la vegetación azonal altoandina ubicada al suroeste del salar Michincha (Región Tarapacá, 4.200 msnm). El modelo implementado, se basa en el análisis multitemporal de imágenes históricas, respaldado con catastros de flora-vegetación. Los resultados permitieron comprender el efecto de variaciones hídricas en humedales altiplánicos para orientar el diseño de medidas adecuadas de protección/conservación.

De acuerdo con los autores dicha investigación permitió determinar que en el área de estudio durante 1985-2019, se infieren cambios multitemporales a nivel fisionómico en los SVAHT, constatados con variaciones en la composición y cobertura de las especies dominantes. El principal proceso sucesional ( $\approx 25$  hectáreas, 31% del total), correspondería al reemplazo de Bofedal- Pajonal Hídrico, pasando a Bofedal-Vega y Pajonal Hídrico, posteriormente a vegetación muerta y recientemente en parte a Vega, Pajonal Hídrico y Vega- Pajonal Hídrico. El NDVI valida una tendencia al descenso en la cobertura/actividad vegetal (-61% del valor promedio, 1985-2019), la cual es asimétrica entre las formaciones vegetales, siendo las unidades entorno a la vertiente las que presentan mayor variación (descenso previo 2013, seguido por una recuperación de  $\approx 10\%$ ).

Los análisis llevados a cabo desde otra área de estudio como el elaborado por Garcés Villalba, J.D., (2019), denominado “Evaluación de la calidad física, química y microbiológica del agua en la ciénaga de Betancí, Departamento de Córdoba – Caribe colombiano” determina como las característica morfológicas de las ciénagas directamente asociadas al área de escorrentía conformada por el cano Betancí, que conecta directamente la ciénaga con el río Sinú, y las quebradas Las Flores, Aragón, La Manta, Manta Gordal, dinámicas de lluvia y sequía, sumado a las actividades de ganadería y de asentamientos humanos entre los que se encuentran Maracayo, Hamacas y Nueva Lucia., ponen en riesgo sanitario a las poblaciones aledañas.

Este estudio permite observar el riesgo que representan los vertimientos de aguas residuales de tipo doméstico en la ciénaga o terminan allí por efectos de la escorrentía, así como la ganadería, como ya se ha mencionado anteriormente, ya que las heces de los animales también se disponen en el cuerpo de agua de la ciénaga. Este estudio definió que la calidad del agua de la ciénaga oscila entre calidades media a baja, presentándose calidad media en temporada de lluvias y calidad mala en temporadas de sequía, siendo el sector Maracayo-Hamacas el que presenta las peores condiciones en la calidad del agua con presencia de ortofosfatos, nitratos y coliformes fecales con valores muy superiores a lo establecido por el decreto 1594 de 1984; lo que indica que no son aguas aptas para el consumo ni para ninguna otra actividad.

En el análisis elaborado por Arrieta Torres et al (2018), denominado “Análisis de aspectos ambientales generados por las prácticas ganaderas en el área de influencia de la ciénaga de Betancí en el municipio de Montería (Colombia)” a través de imágenes satelitales LANDSAT para los años 2000, 2007 y 2016, y aplicando la Clasificación No Supervisada, se evaluaron las determinantes ambientales de Agua, Vegetación herbácea, Suelo Desnudo, Vegetación arbórea y nubosidad para cada uno de los años de estudio, complementado con un reconocimiento visual en el cual, a través de una matriz P-E-R (Presión-Estado-Respuesta) se asociaron factores ambientales de la ciénaga, con las actividades que los impactan directamente y las posibles soluciones o actividades de mitigación.

De este análisis se estableció que la degradación tanto del suelo como del agua en la Ciénaga de Betancí está directamente asociada con las prácticas “productivas y económicas de la región tales como la actividad agrícola, ganadera, minera, pesquera, entre otros”. Siendo la ganadería el factor con mayor impacto ya que la actividad de pastoreo sin control o regulación genera una degradación de la cobertura vegetal, dejando expuesto el suelo y de esta manera facilitando los procesos de erosión, así mismo la carga generada por grandes cantidades de bovinos, generan un proceso de compactación ejercida por el peso y presión de los animales, lo que altera las propiedades del suelo, impidiendo la infiltración del agua y por ende generando encharcamientos que a su vez aceleran los procesos de erosión por escorrentía.

Además de lo anterior, el análisis de factores por métodos directos logró establecer que la ganadería afecta directamente no solo la cobertura vegetal sino también la calidad del agua, ya que los procesos de acicalamiento de animales, uso de medicamentos para su cuidado, y de agroquímicos asociados a esta actividad económica, terminan finalmente concentrándose en el cuerpo de agua de la Ciénaga, disminuyendo su calidad y perjudicando las actividades de pesca de la que dependen los habitantes del sector.

El artículo presenta un análisis multitemporal de las áreas boscosas naturales en la zona limítrofe entre Colombia (Puerto Asís, Putumayo) y Ecuador (Sucumbíos), utilizando imágenes satelitales RapidEye de 2010 y 2017, con un enfoque en el índice de vegetación NDVI y clasificación supervisada para diferenciar coberturas naturales de antrópicas. El área de estudio abarca 25.259,09 hectáreas, donde se observa una disminución del bosque del 86,21% (21.776,79 ha) en 2010 al 82,14% (20.747,99 ha) en 2017, con una pérdida total de 1.028,8 ha atribuida principalmente a la expansión de la frontera agrícola, cultivos ilícitos y ganadería, siendo mayor el impacto en territorio colombiano (773,58 ha) que en el ecuatoriano (255,22 ha). Las conclusiones destacan la utilidad del NDVI para identificar cambios en la vegetación y patrones de deforestación, aunque se requiere depuración en la clasificación para separar coberturas mixtas. Se evidencia una mayor conservación en Ecuador frente a la fragmentación en Colombia, y se sugiere monitoreo futuro para evaluar medidas de sustitución de cultivos ilícitos implementadas en 2018.

El artículo "Land Use/Land Cover Changes Using Multi-Temporal Satellite Imagery" de H.T.T. Nguyen et al. (2020) analiza los cambios en el uso y cobertura del suelo (LULCC) en la provincia de Dak Nong, Vietnam, entre 2005 y 2018, utilizando imágenes satelitales Landsat 5 y 8 procesadas en Google Earth Engine. Se empleó el algoritmo Random Forest para clasificar nueve categorías de LULC, incluyendo bosques naturales, plantaciones, cultivos agrícolas y áreas residenciales, con una precisión general de 72,49% a 84,55% (kappa 0,69-0,81). Los resultados muestran una disminución significativa de los bosques naturales, especialmente los de hoja perenne, de 53,1% en 2005 a 34,6% en 2018, debido a la expansión agrícola, plantaciones de caucho y desarrollo socioeconómico. El estudio identificó que los cultivos agrícolas aumentaron de 31% a 53% en el período, mientras que los bosques de hoja perenne, semiperennes y dipterocarpos perdieron aproximadamente 120.000 hectáreas, con una tasa anual de pérdida de

bosque natural del 2,78%. La mayor reducción ocurrió entre 2005-2010, influenciada por el crecimiento poblacional y la conversión de bosques en tierras agrícolas e industriales, como café y caucho. Las imágenes satelitales multitemporales, combinadas con índices como NDVI, permitieron detectar estas transformaciones, destacando la fragmentación de los bosques, que se concentran principalmente en áreas protegidas. Estos cambios reflejan la presión sobre los recursos naturales en Dak Nong, exacerbada por la migración y el desarrollo económico, lo que incrementa el riesgo de degradación ambiental y cambio climático. Los autores subrayan la importancia de estos datos para formular políticas de manejo sostenible, proporcionando una base cuantitativa para la gestión de recursos naturales. El uso de herramientas de teledetección y GIS resultó efectivo para monitorear los cambios a gran escala, aunque se identificaron desafíos en la clasificación de categorías como bosques semiperennes debido a su heterogeneidad.

La disertación "Single and multi-temporal assessment of natural resources using remote sensing" de Mbali Mahlayeye (2017) analiza el uso de imágenes satelitales Landsat para mapear y monitorear los cambios en la cobertura del suelo en el municipio de Makhado, Limpopo, Sudáfrica, una región rica en recursos naturales como pastizales, bosques y cuerpos de agua, que son esenciales para las comunidades rurales. El estudio compara enfoques de clasificación de fecha única y multitemporal para evaluar cambios en la cobertura del suelo en dos períodos (2006-2009 y 2013-2015), utilizando el algoritmo de máxima verosimilitud (MLC) y datos complementarios como NDVI, NDWI y un modelo digital de elevación (DEM). Los resultados muestran que el enfoque multitemporal es más preciso, con accuracias generales de 72,9% (Kc 0,68) y 79,0% (Kc 0,76) frente a 78,1% (Kc 0,74) y 54,3% (Kc 0,46) para el enfoque de fecha única.

Los análisis de detección de cambios post-clasificación revelaron una disminución significativa en los pastizales durante ambos períodos, especialmente entre 2013-2015, atribuida a una sequía severa en 2015. Otros cambios incluyen la conversión de tierras para cultivos agrícolas y la degradación de recursos naturales debido a la alta dependencia de las comunidades rurales y la migración rural-urbana, que incrementa la demanda de recursos como madera. El uso de imágenes Landsat gratuitas permitió un monitoreo efectivo y de bajo costo, destacando la utilidad de la teledetección para identificar áreas irrigadas activamente y evaluar el impacto de factores climáticos y antropogénicos. El estudio subraya la importancia de técnicas multitemporales para

mejorar la precisión en la clasificación de coberturas y detectar cambios en los recursos naturales, proporcionando información clave para la gestión sostenible en Makhado. A pesar de desafíos como la heterogeneidad espectral y la disponibilidad de datos sin nubes, los resultados son útiles para políticas de manejo de recursos y mitigación de impactos ambientales. Se recomienda continuar integrando datos de teledetección con información de campo para mejorar la precisión y apoyar la planificación en regiones vulnerables al cambio climático y la presión antropogénica.

## 2 Justificación

Teniendo en cuenta el papel fundamental que juegan los humedales en la subsistencia tanto de los seres humanos como de innumerables especies vegetales y animales por lo que ha sido reconocido ampliamente a lo largo de los años, no solo por la comunidad científica sino también por diferentes entidades gubernamentales como no gubernamentales, lo que ha conllevado al planteamiento de una serie de políticas y estrategias orientadas a promover la conservación, protección y mantenimiento de estos.

Por lo que, nivel mundial se encuentra la convención Ramsar, tratado internacional aprobado el 2 de febrero de 1971 en la ciudad iraní de Ramsar (de ahí su nombre), relativo a la conservación y uso racional de los humedales. La Convención está integrada por 119 países, entre ellos Colombia. La Convención Ramsar elabora la Lista de Humedales de Importancia Internacional que incluye sitios cuya relevancia hace que sean considerados por la comunidad internacional como dignos de ser preservados, mediante un uso sustentable que no modifiquen sus características hidrológicas, biológicas y ecológicas.

Además de lo anterior, en el año 2.000 los 189 países miembros de la Organización de las Naciones Unidas por sus siglas ONU, definieron como uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), la necesidad de garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. Dicho objetivo tiene entre sus metas proteger y restaurar los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos las montañas, los bosques, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.

Asimismo, a nivel nacional el país además de hacer parte de la convención RAMSAR, desde 1974 ha expedido una serie de leyes y de normas reglamentarias orientadas a la preservación y buen manejo de los diferentes cuerpos de agua que existen en el país, entre las cuales se destacan, el Decreto – Ley 2811 de 1974, el cual señala en su artículo 137 que serán objeto de protección y control especial las fuentes, cascadas, lagos y otras corrientes de agua naturales o artificiales, que se encuentren en áreas declaradas dignas de protección, la Ley 357 de 1997, Por medio de la cual se aprueba la "Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional

Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas", suscrita en Ramsar el dos (2) de febrero de mil novecientos setenta y uno (1971), la resolución 157 de 2004, Por la cual se reglamenta el uso sostenible, conservación y manejo de los humedales, y se desarrollan aspectos referidos a los mismos en aplicación de la convención RAMSAR, la resolución 196 de 2006, Por la cual se adopta la guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia." Y finalmente la Ley 2293 de 2023 que introduce la necesidad de incorporar los humedales en los planes de ordenamiento territorial y fortalece el sistema de gestión del riesgo, buscando la protección de los humedales y la mitigación de los efectos del cambio climático.

A nivel local la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge, expidió en el año 2017, el acto administrativo Acuerdo No. 351 del 2017, *Por el cual se declara el Distrito de Conservación de Suelos de la ciénaga de Betancí y se dictan normas para su administración y manejo sostenible*, dicho Acuerdo declaró como área protegida en la categoría de Distrito de Conservación de Suelos la Ciénaga de Betancí, con una extensión de 13.41sha, divididas de acuerdo a las categorías de zonificación en zona de Preservación 3.617ha (26,9670), zona de uso sostenible - subzona de aprovechamiento 2.748ha (20,48Vo), zona de uso sostenible - subzona para el desarrollo 5.433ha (40,50%), zona de restauración 1.600ha (11,93%), zona de uso general de uso público 17ha (0,13o/o).

Por consiguiente, teniendo en cuenta todo lo anterior, se considera importante y oportuno adelantar la investigación a realizar toda vez que permite realizar un análisis en relación a los posibles cambios presentados en las coberturas y calidad del agua del DCS Ciénaga de Betancí, a partir de las condiciones definidas en los estudios realizados para su declaratoria como área protegida, versus los resultados obtenidos en el análisis multitemporal realizado en la presente investigación.

También, resulta importante adelantar la investigación relacionada con los posibles cambios experimentados por las coberturas y calidad del agua del DCS Ciénaga de Betancí, dado que se puede investigar en el área de estudio realmente se está cumpliendo el objetivo de protección en términos de la cobertura y uso del suelo.

Además, profundizar en el conocimiento sobre las interacciones entre la cobertura terrestre, el uso del suelo y la calidad del agua, evaluando además la efectividad de las medidas de conservación implementadas. Este enfoque no solo generará información valiosa para la academia, sino que también proporcionará datos concretos para apoyar la toma de decisiones en políticas públicas (Contraloría de Córdoba, 2011).

Este proyecto se destaca por su utilidad práctica y su innovación, empleando herramientas asociadas a los Sistemas de Información Geográfica (ArcGis Pro, ArcMap, Qgis, ENVI) y procesamiento digital de imágenes satelitales, que permiten determinar valores tales como las firmas espectrales, variabilidad del espejo de agua de la Ciénaga de Betancí para los años 2010, 2017 y 2024, así como los cambios en las coberturas y uso del suelo en el área de estudio.

### **3 Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Realizar un análisis multitemporal de la Dinámica de Cobertura y Uso del Suelo del Distrito de Conservación de Suelos (DCS) Ciénaga de Betancí en el municipio de Montería entre los periodos 2010-2017 y 2017-2024.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Analizar los cambios en las coberturas y usos del suelo del entorno natural del DCS Ciénaga de Betancí mediante imágenes satelitales en los periodos comprendidos entre 2010-2017 y 2017-2024.

Evaluar la calidad del espejo de agua de la Ciénaga por medio de firmas espectrales derivadas de imágenes satelitales para la identificación del estado de turbidez.

Estructurar una Base de Datos Geográfica, donde se pueda tener acceso a toda la información relevante para el presente trabajo de investigación y que además sirva como herramienta de consulta de información.

#### **4 Hipótesis**

La declaratoria de Área protegida de humedales no garantiza la “protección” o logro de los objetivos de conservación de estos, toda vez que permanentemente sufren transformaciones principalmente debido a actividades antrópicas.

## 5 Marco teórico

Los sistemas de información geográfica, así como sus aplicaciones han adquirido gran importancia en las últimas décadas, llevado por la necesidad de realizar análisis y obtener respuestas a ciertas inquietudes, tan rápido como se mueven las dinámicas políticas, técnicas y sociales. Es por esta razón que su uso se ha masificado, traspasando sus aplicaciones iniciales llegando incluso a ser un recurso empleado para la toma de decisiones y planificación en diferentes campos como la salud, ambiente, transporte, territorio, entre otras.

Es allí, en el territorio, en su análisis, planificación y protección donde se enmarca el desarrollo de esta investigación, para lo cual fue necesario aplicar varios recursos y herramientas GIS a fin de obtener los resultados esperados y responder las inquietudes planteadas dentro de esta labor, razón por la que fue necesario considerar no solo el recurso técnico y humano, sino enmarcar los resultados esperados dentro de las herramientas disponibles.

A continuación, se describen esas herramientas que fueron seleccionadas, pensando en las necesidades creadas en el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados.

### 5.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Hoy día el termino SIG (Sistemas de Información Geográfica) se ha difundido en todas las ciencias y saberes, por tanto, el concepto de este es “subjetivo” es decir, depende desde la ciencia que lo define, es así, como podemos decir desde las ciencias Ambientales, que los SIG permiten estudiar, analizar y evaluar las problemáticas medioambientales bióticas, abióticas y sociales que o afectan ya que permiten representar los objetos del mundo real. En este sentido, [NCGIA], 2016). en Mancipe Muñoz (2017) define los SIG como “una combinación de recursos humanos y técnicos que, bajo procedimientos elaborados sobre software especializado, facilita la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado y representación de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión (Centro Nacional para la Información y Análisis Geográfico”.

Por consiguiente, para hacer uso de los SIG es necesario un Software tal como QGis, ArcGis PRO, ArcMAP, GVSig etc., los cuales permiten el uso y análisis de información en formato ráster y vectorial georreferenciada.

Formato Ráster: un ráster es una red de organizadas en filas y columnas formando celdas (PIXEL) de igual espaciamiento las cuales toman un valor que se asocia con una representación temática.

Formato Vectorial: este formato permite representar los objetos del mundo real a partir de puntos, líneas y/o polígonos.

## **5.2 Base de Datos Geográfica**

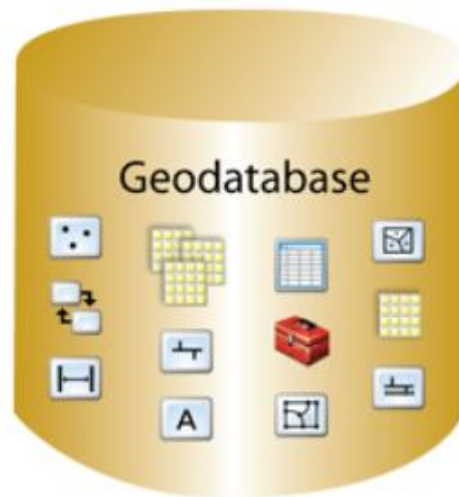
Geodatabase (File Geodatabase) Ext. Gdb Las bases de datos permiten organizar, analizar y administrar la información geográfica así como mantener en esta un mismo sistema de referencia que permita el análisis y gestión de la información así como la toma de decisiones “Las bases de datos que se trabajan en un SIG son de tipo geográfico; es decir, existe una representación espacial de la información contenida en dicha base de datos, la cual puede ser explícita (a través de una coordenada o dirección) o implícita (a partir de un descriptor que represente la posición de un elemento)”. Mancipe Muñoz (2017) p14.

### **5.2.1 Geodatabase (File Geodatabases) Ext. Gdb**

La geodatabase (GDB) denominada en ArcGis como FILE GEODATABASE, es un modelo nativo de este software, almacena información geográfica, es decir información espacial georreferenciada, y puede almacenar datos ráster, vectoriales, modelos tridimensionales de terreno, relaciones entre los componentes, tablas, reglas topológicas, anotaciones y algunos otros más, facilitando el uso, operación, administración y mapeo de estas. Figura 4.

**Figura 4.**

*Estructura de una geodatabase.*



Nota. Fuente <https://www.cursosgis.com/como-crear-una-geodatabase-en-arcgis/>.

### **5.3 Ecosistemas Acuáticos y Humedales**

Los humedales son ecosistemas acuáticos de gran relevancia ecológica y socioeconómica. Su importancia radica en la multiplicidad de funciones que desempeñan para la sostenibilidad ambiental y el bienestar humano (Brown et al., 2021). Estos ecosistemas, presentes en distintas regiones del mundo, destacan como refugios de biodiversidad, zonas de regulación hídrica y recursos clave para las comunidades locales que dependen de ellos (Alikhani et al., 2021).

Los humedales proveen servicios ecosistémicos esenciales, como el abastecimiento de agua dulce, la mitigación de inundaciones y el almacenamiento de carbono. Además, son hábitats vitales para una amplia variedad de especies animales y vegetales, muchas de las cuales se encuentran en peligro de extinción (Bassi et al., 2014). En términos socioeconómicos, estos ecosistemas sostienen actividades como la pesca, el turismo ecológico y la agricultura sostenible, generando ingresos y mejorando la calidad de vida de las comunidades locales (Alikhani et al., 2021).

#### **5.3.1 Factores de Presión en los Humedales**

Los humedales, a pesar de su importancia, están siendo sometidos a una creciente presión derivada de las actividades humanas y los cambios en el uso del suelo, lo cual ha generado impactos significativos en la estructura y funcionalidad de estos ecosistemas, poniendo en riesgo su capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos clave (Córdoba Hernández & Camerin, 2024).

El avance de la frontera agrícola y ganadera ha llevado a la transformación de extensas áreas de humedales en tierras productivas, ocasionando la degradación de sus suelos y la pérdida de su biodiversidad. Además, la expansión urbana y las construcciones asociadas han alterado los flujos hídricos naturales, fragmentando el ecosistema y reduciendo su capacidad de resiliencia frente a las perturbaciones (Ballut-Dajud et al., 2022).

Así mismo, la pérdida de cobertura vegetal y la degradación del suelo impactan directamente la biodiversidad, disminuyendo las poblaciones de especies nativas y favoreciendo la proliferación de especies invasora y afectando, a su vez, la provisión de servicios ecosistémicos, como la regulación hídrica y la calidad del agua, limitando el acceso a recursos esenciales para las comunidades humanas que dependen de los humedales (Córdoba Hernández & Camerin, 2024).

#### **5.4 Análisis Multitemporal en la Evaluación de Ecosistemas**

El análisis multitemporal es una técnica que emplea imágenes satelitales tomadas en diferentes momentos para estudiar los cambios en la cobertura del suelo, los cuerpos de agua, la vegetación y otras variables de relevancia, por lo que es fundamental al hablar de estudios ecológicos y ambientales (Fernández-Maldonado et al., 2024).

Los análisis multitemporales permiten identificar patrones y tendencias entre las variables climáticas, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en políticas de conservación y manejo ambiental (Zhu et al., 2022). A su vez, el uso de estas tecnologías permite obtener datos precisos y actualizados que permiten monitorear el estado de salud de los ecosistemas, siendo útil para cuantificar la expansión de áreas de pastizales, la reducción de áreas forestales y las fluctuaciones en el nivel del agua en respuesta al cambio climático (Wang et al., 2023).

#### **5.5 Gestión Adaptativa y Conservación de Ecosistemas Vulnerables**

La gestión adaptativa hace referencia a un enfoque flexible empleado para abordar la incertidumbre a los impactos del cambio climático en los ecosistemas, lo que permite ajustar las estrategias de manejo y conservación en función de los resultados obtenidos a lo largo del tiempo y de las nuevas evidencias científicas, y a su vez realizar monitoreo continuo de aprendizaje y ajuste de las intervenciones, facilitando la conservación de ecosistemas en situaciones de cambio dinámico (Dallmeier et al., 2013). Las estrategias de gestión adaptativa son cruciales para hacer

frente a los cambios ocurridos en un ecosistema, permitiendo a los responsables de conservación ajustar las políticas de manejo en función de las alteraciones climáticas (Månsson et al., 2023).

## **5.6 Análisis de la Calidad del Agua por Medio de Firmas Espectrales.**

### **5.6.1 Espectro Electromagnético.**

El espectro electromagnético según Chuvieco (2002), es la organización de las bandas de longitudes de onda o frecuencia y “comprende desde las longitudes de onda más cortas (rayos gamma, rayos X), hasta la kilométricas (tele-comunicaciones). Las unidades de medida más comunes se relacionan con la longitud de onda. Para las más cortas se utiliza micrómetros, mientras las más largas se miden en centímetros o metros.

Así mismo, Chuvieco (2002) p 46, identifica las bandas espectrales empleadas con más frecuencia en la actualidad:

### **5.6.2 Espectro visible.**

(0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) es la única radiación electromagnética visible a nuestros ojos, en esta región se distinguen 3 bandas que son el azul (BLUE) que va de 0,4 a 0,5  $\mu\text{m}$ ; verde (Green) que va 0,5 a 0,6  $\mu\text{m}$ , y rojo (RED) que va de 0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$ , y obedecen a los colores primarios que el ojo percibe en esta longitud de onda y es conocido como RGB, cabe anotar que Chuvieco (2002), indica que la denominación y amplitud pueden variar de un autor a otro.

### **5.6.3 Infrarrojo Cercano.**

(IRC 0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ ) se denomina infrarrojo próximo, parte de este puede detectarse a partir de películas dotadas de emulsiones especiales.

### **5.6.4 Infrarrojo Medio.**

(IRM 1,3 a 8  $\mu\text{m}$ ) en esta región del espectro electromagnético de entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y la emisión de la superficie terrestre.

### **5.6.5 Infrarrojo Lejano o térmico.**

(IRT 8 a 14  $\mu\text{m}$ ), incluye la porción emisiva del espectro terrestre donde se detecta el calor que proviene de las cubiertas terrestres.

Microondas. (M, por encima de 1mm), energía transparente a la cubierta nubosa.

### **5.6.6 Reflectividad de las Superficies.**

Sobrino (2000), dice que “todos los cuerpos reflejan o emiten los flujos energéticos bajo forma de radiación. La variación relativa de la energía reflejada o emitida en función de la longitud de onda constituye lo que se denomina su signatura espectral. Cada superficie tiene su curva de reflectividad y emisividad espectral característica”.

### **5.7 Firmas Espectrales**

De acuerdo con Drozd y Fernández (2016), todos los elementos geográficos transforman de forma diferenciada la radiación electromagnética que reciben del sol. Cada tipo de objeto presenta un nivel de respuesta específico en términos de:

% de radiación reflejada + % de radiación absorbida +% de radiación transmitida.

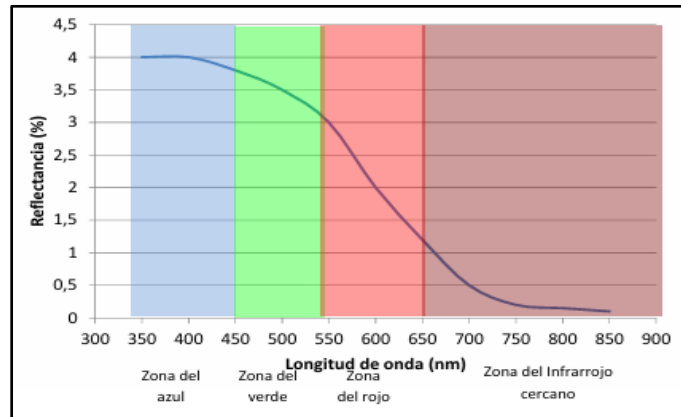
El resultado de lo anterior, se le denomina firmas espectrales, y son tal como señala Lara y Ávila la expresión única de la reflectancia o emisión de energía electromagnética por un material o superficie a lo largo del espectro electromagnético. Representan propiedades físicas, químicas y biológicas, y permiten determinar según Drozd y Fernández (2016) cuantitativamente las propiedades espectrales de un objeto en una o varias bandas espectrales.

Lo anterior según Ávila (2019) obedece a que cada tipo de superficie interactúa con la radiación de manera diferente, absorbiendo unas longitudes de onda muy concretas y reflejando otras diferentes en unas proporciones determinadas. Esta característica hace posible que se puedan identificar los distintos objetos tanto de la tierra como del cielo.

Por consiguiente, esta "huella digital" espectral es la base para procesos de identificación, caracterización de diferentes materiales, como vegetación, suelo, agua, y estructuras urbanas, con gran precisión (Saleem & Mahmood, 2023).

**Figura 5.**

*Firma espectral del agua pura sobre las regiones del espectro electromagnético.*



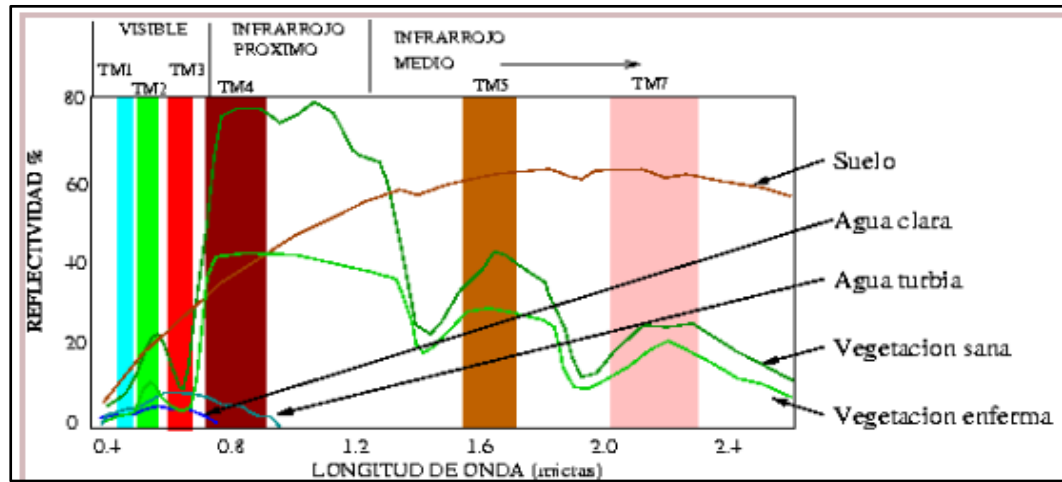
Nota. Fuente Drozd y Fernández (2016).

El carácter tridimensional de las superficies de agua hace que en su respuesta espectral aparezca un componente debido a la superficie, otro a la columna de agua y un tercero al fondo. Por lo tanto, cualquier variación tanto en la columna de agua como en los materiales del fondo van a alterar su respuesta; un fondo de arena clara proporciona mayor reflectancia que otro compuesto por materia orgánica en descomposición. Sin embargo, debido a la escasa capacidad de penetración de la radiación, estas consideraciones sólo son válidas en aguas muy someras.

Cuando el agua contiene turbidez, las consecuencias sobre la respuesta espectral van a depender del tipo de turbidez. Si se trata de fitoplancton, aparecen importantes alteraciones en el verde (aumenta) y en el azul (disminuye). Estos resultados han permitido el desarrollo de diversas ecuaciones empíricas. Si se trata de sedimentos inorgánicos la reflectividad aumenta, especialmente en el rojo.

**Figura 6.**

*Firma espectral del agua pura sobre las regiones del espectro electromagnético.*



Nota. Fuente <https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node70.html>

## **6 Metodología**

### **6.1 Enfoque Metodológico**

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que se fundamenta en la recopilación, procesamiento y análisis de datos objetivos y medibles provenientes de fuentes secundarias, como imágenes satelitales. Este enfoque permite analizar los cambios en la cobertura terrestre, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la Ciénaga de Betancí, empleando métodos estadísticos y técnicas de análisis espacial.

### **6.2 Tipo de estudio**

La investigación es de tipo no experimental y se clasifica como descriptiva y longitudinal. Se destaca el tipo no experimental puesto que no se manipulan intencionalmente las variables; el tipo de estudio descriptivo se enfoca en la caracterización y descripción de los cambios en la cobertura y condiciones ambientales de la Ciénaga de Betancí en dos periodos temporales (2010-2017 y 2017-2024). Y finalmente de tipo longitudinal ya que se analizan tendencias y patrones a lo largo del tiempo mediante un análisis multitemporal para evaluar los efectos acumulativos de las actividades humanas y otros factores de presión en los humedales.

### **6.3 Procedimiento**

El procedimiento que se describe a continuación se definió teniendo en cuenta los objetivos específicos planteados. Estos títulos a su vez se subdividen en las diferentes fases adelantadas para dar cumplimiento a los objetivos propuestos.

#### **6.3.1 Actividades preliminares**

Previo al desarrollo de cada uno de los objetivos, fue necesaria la búsqueda, recolección, procesamiento y mejoramiento de la información que fue la base de este proyecto.

Entre esta información se cuentan las imágenes satelitales que fueron el insumo principal, así como cartografía general disponible en diferentes portales, sistemas de información referente a áreas naturales protegidos a nivel nacional, y muy específicamente la cartografía base definida en

el Plan de Manejo Ambiental de la Ciénaga de Betancí, adoptado mediante el Acuerdo 351 del 6 de diciembre de 2017 de la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge.

**Proceso metodológico para determinar y analizar los cambios en las áreas de las coberturas y usos del suelo del entorno natural del DCS de la Ciénaga de Betancí, mediante imágenes satelitales en los periodos comprendidos entre 2010-2017 y 2017-2024.**

Para alcanzar este objetivo, tal como se mencionó anteriormente, se definió la Clasificación Supervisada como el método a aplicar para obtener las áreas de las coberturas y los usos en los años 2010, 2017 y 2024. Esta metodología se compone de una secuencia de procesos que permitieron finalmente obtener las áreas de las coberturas de estudio, además de una evaluar el resultado obtenido a través de una Matriz de Confusión, lo que permitió, a través del valor de precisión, observar la idoneidad del resultado obtenido.

Con los archivos y valores anteriores se elaboró el análisis multitemporal en el cual se pudieron establecer los cambios en las áreas de las coberturas y usos del suelo seleccionados en los periodos de tiempo establecidos 2010 a 2017 y 2017 a 2024. Que corresponden a los siete años previos y posteriores a la declaratoria de área protegida.

**Proceso metodológico para evaluar la calidad del espejo de agua de la Ciénaga de Betancí, por medio de firmas espectrales derivadas de imágenes satelitales para la identificación del estado de turbidez.**

Se realizaron firmas espectrales del cuerpo de agua de la Ciénaga de Betanci en el Software QGIS 10.40.5 (Bratislava) con el complemento SCP, para la imagen Landsat 5 del año 2010 y en el Software ArcGIS PRO para las imágenes Planet Scope de los años 2017 y 2024.

**Proceso metodológico para la estructuración de una base de datos geográfica donde se pueda tener acceso a toda la información relevante para el presente trabajo de investigación y que además sirva como herramienta de consulta de información.**

Estructuración de la información generada en los títulos y fases anteriores, mediante la creación de una GDB en software SIG. Esto permitió almacenar de manera organizada la información, así como la estandarización del sistema de referencia utilizado (Origen Único Nacional).

## 7 Resultados

A continuación, se describe el desarrollo de cada uno de los títulos citados en el numeral anterior, así como cada una de las fases que se ejecutaron en pro de alcanzar los objetivos planteados.

### 7.1 Actividades preliminares.

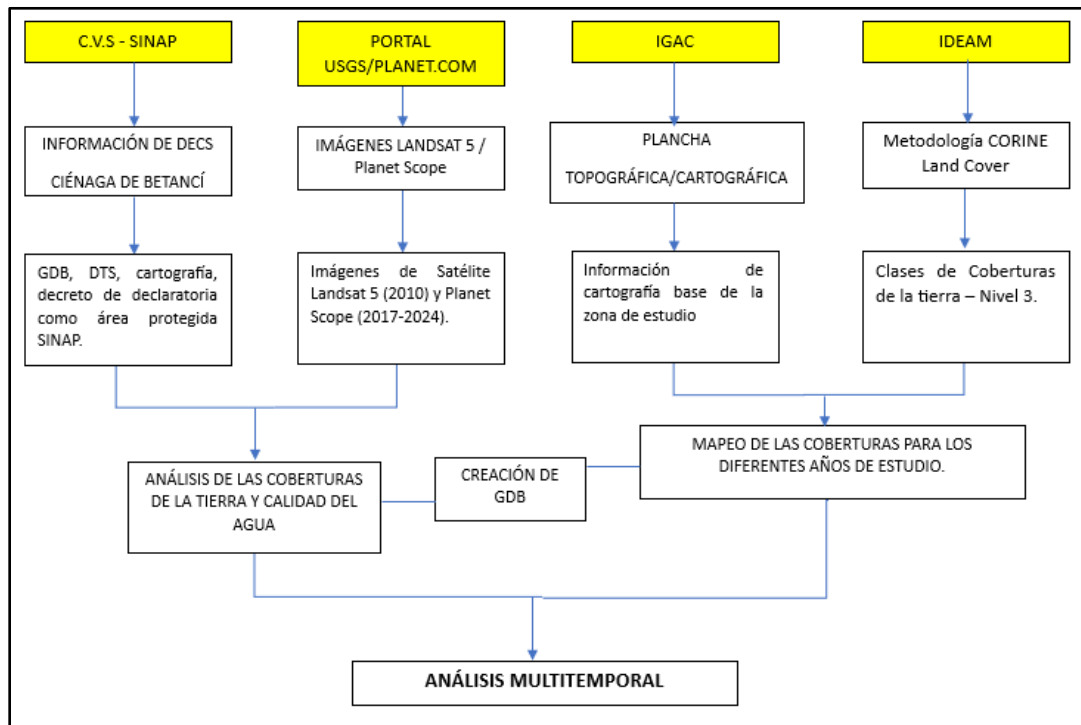
#### 7.1.1 Fase 1: *Recolección de Información.*

Se descargaron imágenes satelitales Planet Scope desde la página Planet.com para el año 2017 y 2024 e imágenes gratuitas LANDSAT 5 del Geoportal United States Geological Survey USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos) para el año 2010; estas fueron la base para el análisis de las coberturas terrestres, vegetación, cuerpo de agua y asentamientos humanos, en la aplicación de la clasificación supervisada.

Además de las imágenes satelitales se recopiló cartografía base disponible en los portales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) y la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y de San Jorge (CVS), que están directamente relacionados con el Distrito de Conservación del Suelo (DCS) de la Ciénaga de Betancí, que sirvieron para contextualizar espacialmente los análisis que se realizaron y la generación de mapas de resultados. Adicional a lo anterior esta información fue incorporada en la Base de Datos Geográfica (GDB), que se estructuró como uno de los objetivos de esta investigación. (Figura 7).

**Figura 7.**

*Descripción del proceso de recolección de información.*



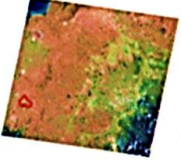
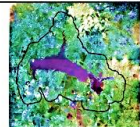
*Nota. Fuente propia*

### **7.1.2 Fase 2: Descarga de Imágenes utilizadas.**

Se utilizaron 3 imágenes LANDSAT 5 del año 2010 descargadas gratuitamente en el Geoportal United States Geological Survey USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos) y 4 imágenes Planet Scope obtenidas del geoportal Planet.com, para los años 2017 y 2024.

Las imágenes Planet Scope proporcionadas por la constelación CubeSats de Planet Labs, ofrecen una muy buena resolución espacial que está entre 1 y 5 metros, lo que permite un análisis más detallado de la superficie terrestre, así mismo al incluir bandas espectrales visibles y de infrarrojo cercano, son comúnmente utilizadas para análisis de cuerpos de agua. En la siguiente tabla se describen las especificaciones técnicas de las Imágenes Satelitales usadas.

**Figura 8.**  
*Información de imágenes requeridas*

Satélite	Imagen	Resolución				Bandas	Unidad espectro
		Espacial (m)	Radiométrica (BITS)	Temporal (DIAS)	Espectral (BANDAS)		
Landsat 5 (2010)		30(Reflectante)	12	16	11	B1 (Coastal/Aerosol), B2 BLUE, B3 GREEN, B4 RED, B5 NIR, B6, B7 SWIR-2, B9 Cirrus, B8 PAN, B10 TIR-1, B11 TIR-2	B1 (Coastal/Aerosol 0.435-0.451), B2 B (0,452-0,512µm), B3 G (0,533-0,590µm), B4 R (0,636-0,673µm), B5 NIR (0,851-0,879µm), B6 SWIR-1 (1,566-1,651µm), B7 SWIR-2 (2,107-2,294µm), B9 Cirrus (1,363-1,384)
		100(térmicos)					B10 TIR-1 (10,60-11,19µm), B11 TIR-2 (11,50-12,51µm)
		15(pancromático)					B8 PAN (0,503-0,676µm)
Planet scope (217 - 2024)		1 - 5	12	3	8	Azul costero: 431-452nm, Azul: 465-515nm, Verde I: 513-549nm, Verde: 547-583nm, Amarillo: 600-620nm, Rojo: 650-680nm, RedEdge: 697-713nm, NIR: 845-885nm	

*Nota. Fuente propia*

### 7.1.3 Fase 3: Procesamiento y Análisis de Datos.

Previo a la clasificación supervisada fue necesario llevar a cabo el pre- procesamiento y análisis de las imágenes obtenidas para garantizar resultados óptimos en el cumplimiento de los objetivos de la investigación. Inicialmente se llevó a cabo el procesamiento digital de las imágenes satelitales empleando el software ArcGIS Pro. En esta etapa, se realizó un realce de contraste con el fin de mejorar su calidad visual, y de esta manera facilitar la identificación de ciertos rasgos sobre la imagen para su posterior análisis y procesamiento, adicionalmente se realizó el análisis de las firmas espectrales para identificar la turbidez del agua de la Ciénaga de Betancí.

En el caso de las imágenes Planet Scope de los años 2017 y 2024, fue necesario descargar dos (2) imágenes que cubrieran la totalidad del área del estudio, dado que esta se localiza en una zona de superposición de imágenes. Con estas dos (2) imágenes se generó el mosaico y se realizó el recorte al área de estudio para poder hacer el análisis de coberturas. Para hacer este recorte se empleó la herramienta EXTRACT BY MASK de la caja de herramientas ARC TOOLBOX.

En el caso de la imagen LANDSAT se hizo la combinación de las bandas 4,3,2 para obtener color verdadero y posteriormente se realizó el recorte conforme el área de estudio. Para la imagen

LANDSAT no fue necesario realizar el mosaico ya que la imagen obtenida, cubrió la totalidad del área de estudio (Figura 9).

**Figura 9.**

*Imágenes Obtenidas para los años 2010-2017-2024*



Landsat 5 - 2010



PlanetScope - 2017



PlanetScope - 2024

Nota. Fuente propia

## **7.2 Proceso metodológico para determinar y analizar cambios en las coberturas y usos del suelo.**

### **7.2.1 Fase 4: Definición de coberturas.**

Previamente se han mencionado los términos coberturas de análisis, coberturas de estudio o coberturas de interés; estos hacen referencia a las coberturas observadas a través del análisis de las imágenes LANDSAT 5 y Planet Scope disponibles para este trabajo y que fueron identificadas en el documento “LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA – Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia – Escala 1:100.000”. Allí se definieron seis (6) coberturas para los años y periodos de estudio, sin embargo, debido a la resolución espacial de las imágenes LANDSAT 5, la cobertura de territorios artificializados se clasificó únicamente hasta el nivel 2 de la metodología y no hasta el nivel 3 como el resto de coberturas seleccionadas.

**Tabla 1.***Coberturas del suelo para los años 2010, 2017 y 2024.*

LANDSAT (Periodo 2010)	PLANETSCOPE (Periodo 2017-2024)	RGB
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	
1.1. Zonas Urbanizadas	1.1. Zonas Urbanizadas	204-000- 000
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	217-101- 069
1. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	
2.3. Pastos	2.3. Pastos	
2.3.1. Pastos limpios	2.3.1. Pastos limpios	204-255- 204
2.3.2. Pastos arbolados	2.3.2. Pastos arbolados	158-255- 158
4. ÁREAS HÚMEDAS	4. ÁREAS HÚMEDAS	
4.1. Áreas húmedas continentales	4.1. Áreas húmedas continentales	
4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	080-080- 255
5. SUPERFICIES DE AGUA	5. SUPERFICIES DE AGUA	
5.1. Aguas continentales	5.1. Aguas continentales	
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	000-128-255

*Nota. Tomado de “LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA – Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia – Escala 1:100.000”*

A cada una de las coberturas seleccionadas se le asignó un valor numérico que corresponde al código con el cual se identificaron en adelante, para facilitar el manejo de la información. A continuación, se describen tanto las coberturas como los códigos asignados.

**Tabla 2.**

*Coberturas de interés y códigos asignados.*

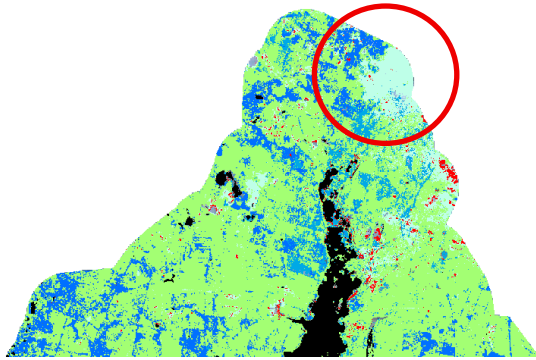
COBERTURA/CLASE	CÓDIGO
Zonas urbanizadas	1.1
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1.2.2
Pastos limpios	2.3.1
Pastos arbolados	2.3.2
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	4.1.3
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	5.1.2

*Nota. Fuente propia.*

No obstante, lo anterior, en las etapas previas del desarrollo de este proyecto se evidenció errores al realizar el proceso de clasificación supervisada. A través de la densificación de las nubes de puntos de cada una de las coberturas, se buscó resolver este error, sin embargo, al no presentarse la mejora esperada, se determinó que estos errores se eran generados específicamente por la presencia de nubes, así como de zonas de Tejido Urbano Disperso, Red Vial, Ferroviaria y Terrenos Asociados, cuyos Niveles Digitales eran similares entre sí y con otras coberturas. En el caso del Tejido Urbano disperso, este quedó contemplado dentro de la categoría 1.1 Zonas Urbanizadas, la Red Vial, Ferroviaria y Terrenos Asociados, pese a ser incluida inicialmente como cobertura de interés, fue eliminada ya que no fue posible minimizar el error y mejorar los resultados. En el caso de las Nubes fue necesario incluirla dentro de las coberturas, ya que los errores que se presentaron en la Clasificación Supervisada sin considerar este elemento, eran considerables lo que repercutía directa y significativamente en el cálculo de áreas. Así pues, la cobertura de nubes fue incluida al final de la tabla de “Coberturas de Interés”, y se le asignó el código 7.

**Tabla 3.**

*Visualización de Clasificación Supervisada en Mosaico 2017 sin corrección por Nubes.*



*Resultado de Clasificación Supervisada sin corrección por Nubes*



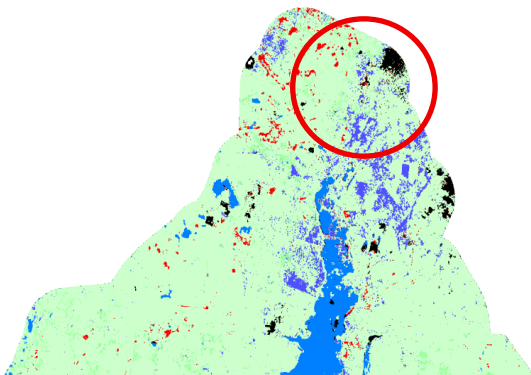
*Mosaico 2017 Planet Scope*

*Nota. Fuente propia.*

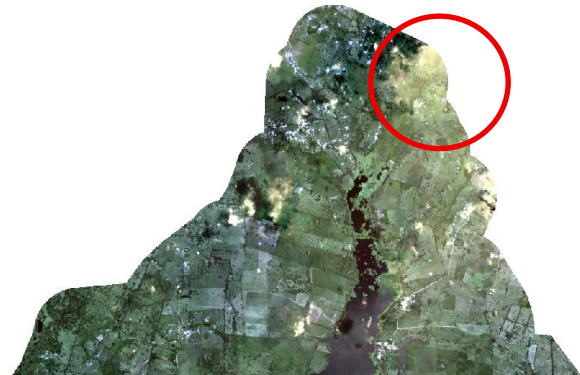
Tal como se observa en las imágenes de la tabla anterior, la zona resaltada se encuentra cubierta por Nubes, sin embargo, una vez se realizó el proceso fue clasificada como Pastos Limpios.

**Tabla 4.**

*Resultado de Clasificación Supervisada en Mosaico 2017 con corrección por Nubes.*



*Ráster Clasificación - 2017*



*Mosaico 2017 Planet Scope*

*Nota. Fuente propia.*

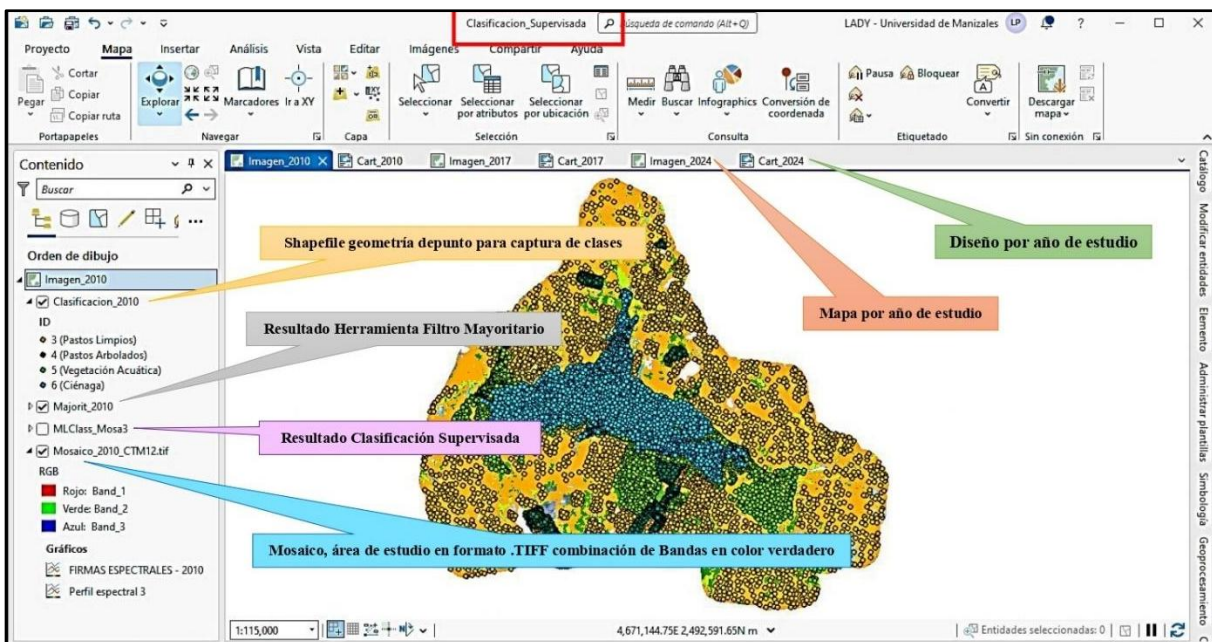
La manera en la que se subsanó este error fue capturando más puntos de la cobertura siete (7) Nubes, de esta manera al realizar la clasificación se tuvo mayor información del nivel digital de esta clase, lo que evitó la confusión del software con otra clase correspondiente a otra Cobertura del Suelo.

### 7.2.2 Fase 5: Clasificación Supervisada.

Esta actividad se adelantó en su totalidad en el software ArcGIS Pro, aplicando tanto las herramientas como el procedimiento definido por el software, así como las indicaciones de las actividades académicas adelantadas respecto a este tema, en el desarrollo del programa académico.

Con las coberturas y códigos definidos en la fase anterior se creó el proyecto en ArcGIS Pro, el cual se denominó Clasificación\_Supervisada.aprx, y se estructuró de la siguiente manera para el adecuado manejo de la información:

**Figura 10**  
*Estructura proyecto Clasificación\_Supervisada en ArcGIS Pro.*



*Nota.* Fuente propia

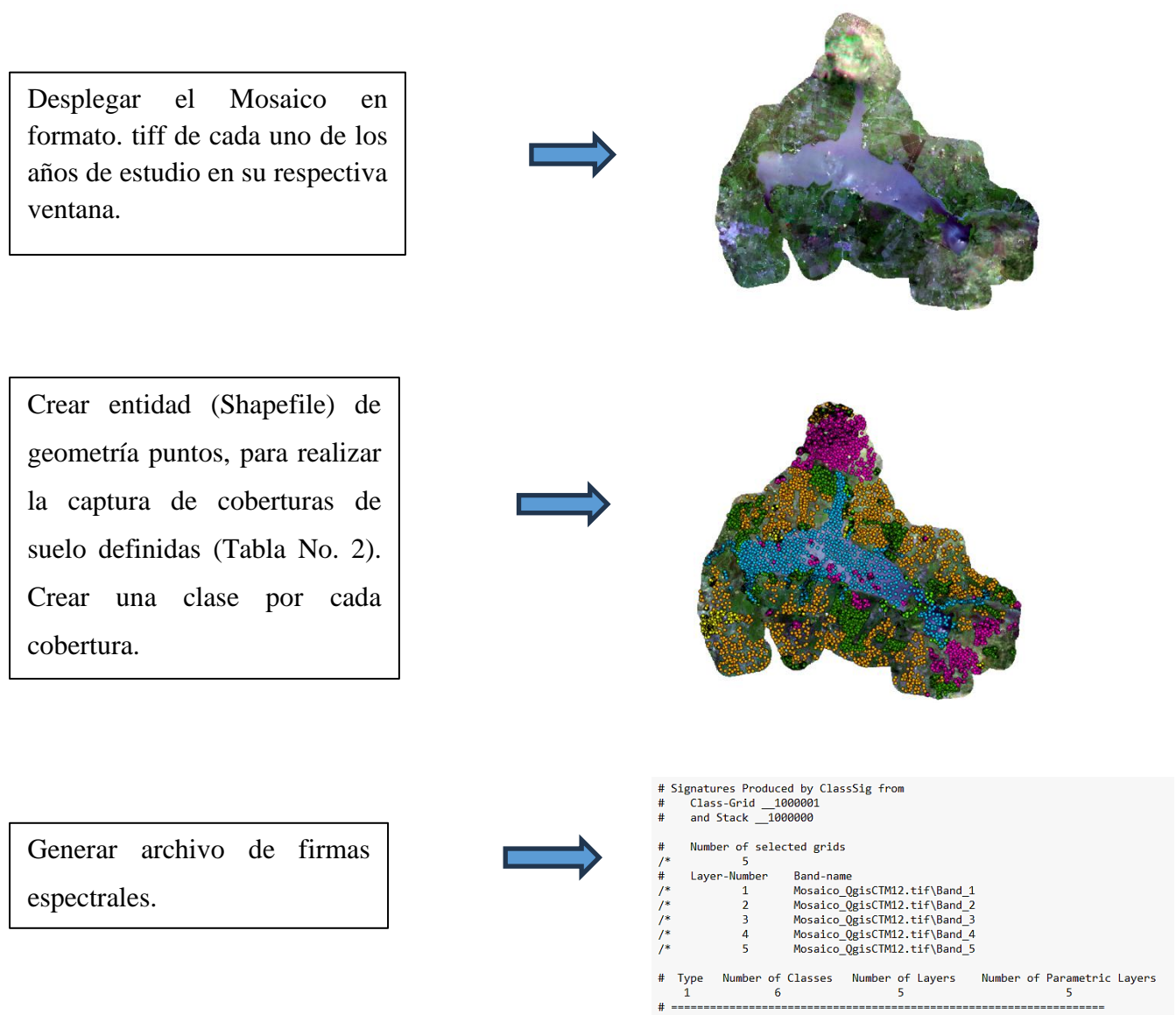
Tal como se observa en la figura 8 por cada año de estudio (2010, 2017 y 2024) se creó una ventana de Mapa y una de Diseño denominadas Mapa y Cart\_ seguidas del sufijo del año

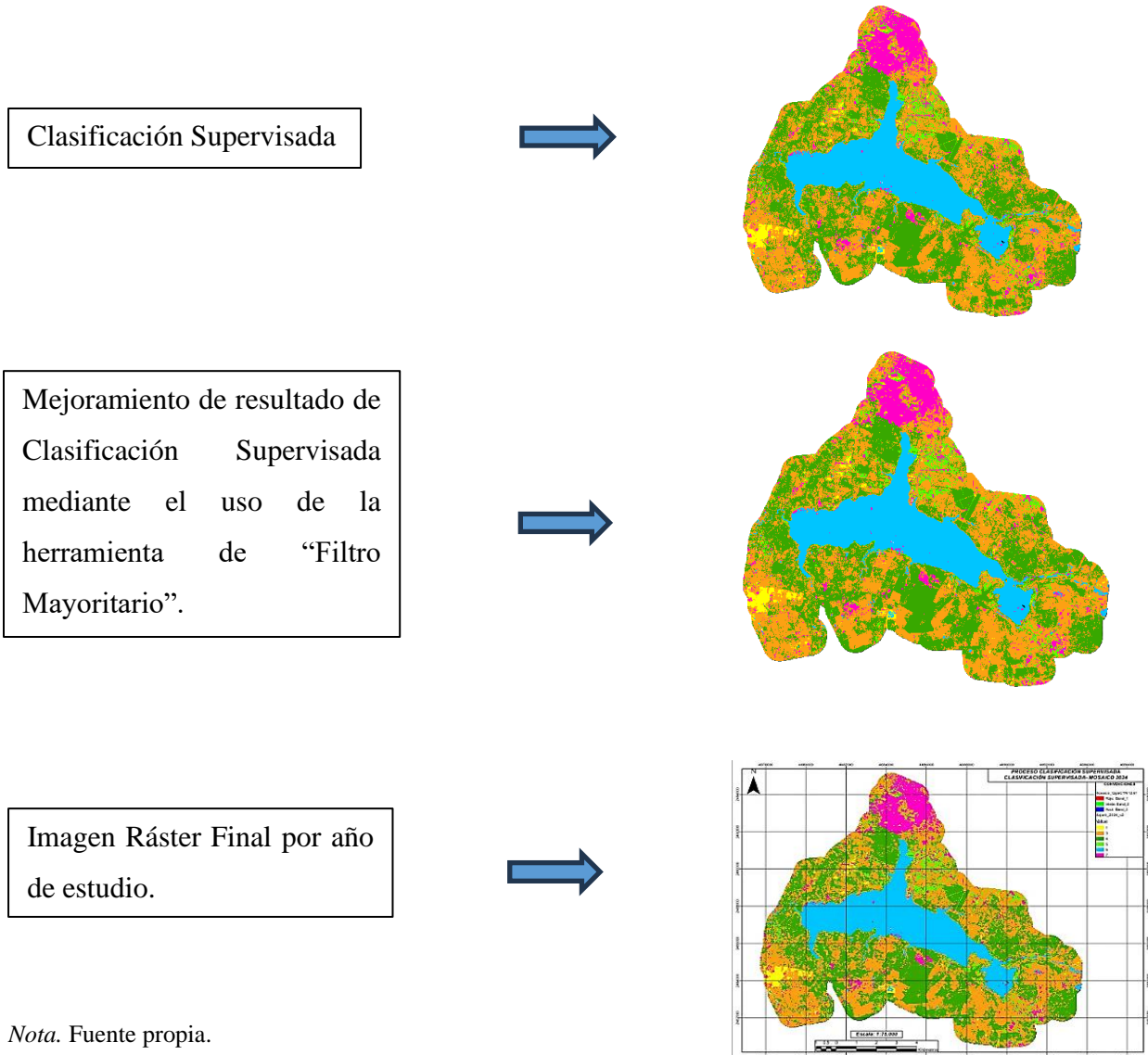
correspondiente; en total seis (6) ventanas. Disponer de un espacio por cada año de estudio resultó adecuado para gestionar el volumen de información de entrada, así como los resultados de los procesos de análisis.

A continuación, se describe el procedimiento de Clasificación Supervisada realizado, para obtener los resultados en formato Ráster, que fueron la base del cálculo de áreas de las coberturas descritas en la Tabla 1 del presente informe.

### Figura 11

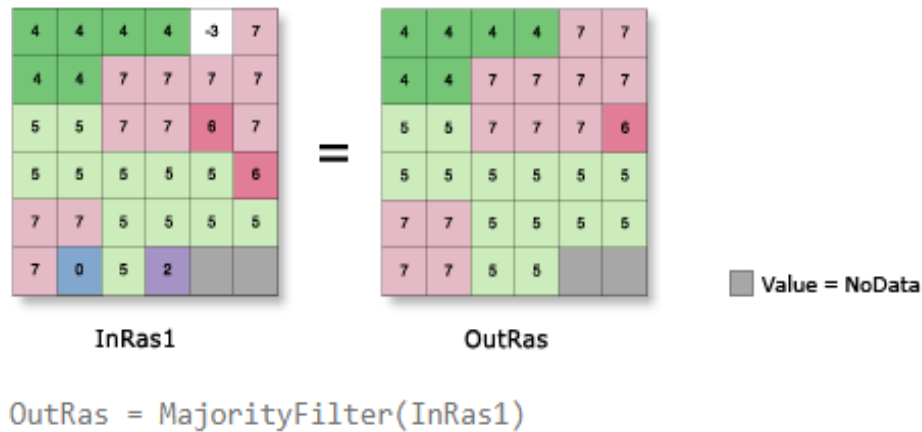
#### *Procedimiento de Clasificación Supervisada en ArcGis Pro*





Del proceso de Clasificación Supervisada se obtuvo tres archivos raster, uno por cada año de estudio, que fueron almacenados en la Geodatabase del proceso de Clasificación descrito en el numeral anterior.

Antes de pasar directamente al cálculo de las áreas, se aplicó un Filtro Mayoritario, que hace parte de las herramientas de Análisis Espacial de ArcGis PRO, y se define como el proceso en el cual se “(...) Reemplaza las celdas de un ráster según la mayoría de sus celdas vecinas (...)”.

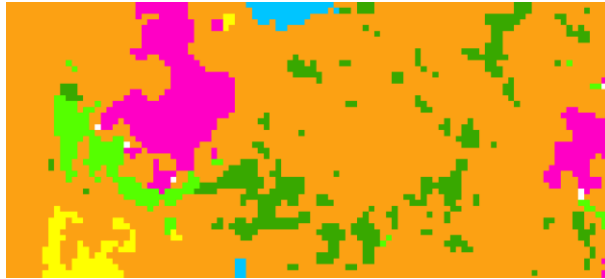
**Figura 12.***Descripción gráfica de Filtro Mayoritario*

*Nota. Fuente Filtro mayoritario (Spatial Analyst)—ArcGIS Pro | Documentación*

De acuerdo con lo anterior, esta herramienta permite refinar los resultados obtenidos por medio de un análisis de los valores contiguos, de esta manera si un valor de celda 6 se encuentra mayoritariamente rodeado por celdas con valor 7, este filtro le asignará a esta celda aislada el valor de la cobertura mayoritaria que la rodea. Esto permitió una mejora visual del ráster obtenido eliminando las celdas aisladas inmersas dentro de otras coberturas. Vale la pena aclarar que este filtro es útil en los casos en los que en el proceso de clasificación haya asignado un valor, ya que no asigna valores a celdas sin información (NoData).

El resultado obtenido de este proceso fueron también tres archivos tipo Ráster (uno por cada año de estudio) los cuales se denominaron Majorit seguidos del sufijo correspondiente al año de estudio, la imagen a continuación muestra el mejoramiento realizado con la herramienta Filtro Mayoritario, sobre una de las imágenes resultado de la Clasificación Supervisada.

**Tabla 5.**  
*Descripción gráfica de Filtro Mayoritario*



*Clasificación supervisada sin Filtro Mayoritario.*



*Clasificación supervisada con Filtro Mayoritario.*

*Nota. Fuente propia.*

Una vez aplicado el Filtro Mayoritario a cada uno de los ráster de los años de estudio 2010, 2017 y 2024, se continuó con el procedimiento.

### **7.2.3 Fase 6: Matriz de Confusión.**

La matriz de Confusión es un paso importante, previo al cálculo de áreas y a la elaboración del Análisis multitemporal, ya que permite determinar la precisión del trabajo de Clasificación Supervisada llevado a cabo en la Fase anterior.

El cálculo de la Matriz de Confusión se realizó una vez creado el archivo Ráster obtenido de la Clasificación de Campo.

Según lo recomendado, se creó una capa tipo punto de Muestreo o Test por cada año de estudio, que se denominaron C\_Test\_2010, C\_Test\_2017 y C\_Test\_2024. Cada una de estas capas contiene las mismas 6 (seis) coberturas de interés de la presente investigación.

El número de puntos a capturado fue equivalente al número total de coberturas multiplicado por diez (10), en la siguiente tabla s puede observar esta equivalencia.

**Tabla 6.**  
*Cálculo puntos de Test o Muestreo*

No	Descripción	Total Coberturas del Suelo (C)	Factor Multiplicación (F)	Puntos a Capturar por Cobertura (C * F) = T
1.1	Tejido Urbano Discontinuo			60
2.3	Pastos Limpios			60
1				
2.3	Pastos Arbolados			60
2				
4.1.	Vegetación Acuática sobre	6	10	60
3	Cuerpos de Agua			
5.1.	Lagunas, Lagos y Ciénagas			60
2	Naturales			
7	Nubes			60
<b>Total puntos de Test o Muestreo <math>\Sigma T</math></b>				<b>360</b>

*Nota. Fuente propia.*

Los puntos de muestreo son puntos aleatorios capturados sobre cada una de las coberturas resultado de la Clasificación Supervisada, los cuales fueron empleados por el software, en este caso ArcGis PRO, para comparar el valor del punto de Test asignado, con el valor del pixel obtenido de la clasificación, y así determinar el valor de la precisión de la Clasificación Supervisada, evaluando las coincidencias obtenidas al realizar esta comparación.

Para ello se emplearon las herramientas de Análisis Espacial y de Análisis, con las que se obtuvo un resultado en formato de Matriz que permitió observar el resultado discriminado por año de estudio, tal como se observa en la siguiente Tabla.

**Figura 13.**  
*Matriz de Confusión para el año 2017*

Majorit_2017_v2_1	Tejido urbano Discontinuo	Pastos limpios	Pastos arbolados	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	Nubes	Total	Precisión
Tejido urbano Discontinuo	55	0	0	0	0	0	55	100%
Pastos limpios	2	60	3	3	0	7	75	80%
Pastos arbolados	0	0	57	0	0	0	57	100%
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	0	0	0	56	0	0	56	100%
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0	0	0	1	60	0	61	98%
Nubes	3	0	0	0	0	53	56	95%
	60	60	60	60	60	60	Sumatoria Total	Precisión Total
							360	95%

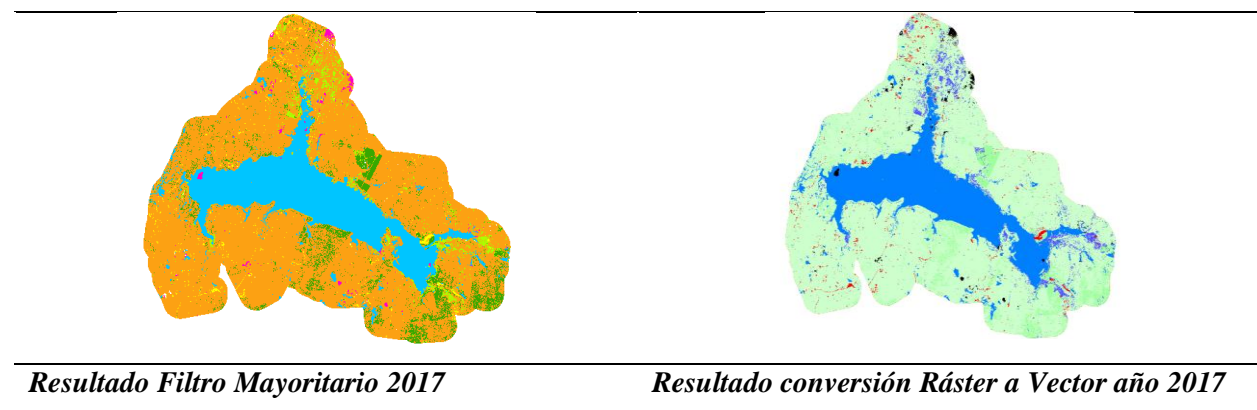
*Nota. Fuente propia.*

La precisión mínima sugerida de acuerdo con las referencias consultadas es del 70%. Los valores obtenidos fueron de 93%, 95% y 98% para los años 2010, 2017 y 2024 respectivamente (ver Anexos 2, 3 y 4), que al estar por encima del valor establecido permitió continuar con la siguiente Fase del Proyecto.

#### 7.2.4 Fase 7: Cálculo de Áreas.

Para realizar este cálculo fue necesario convertir el resultado de la Clasificación Supervisada de formato Ráster a formato Vector, por medio de las Herramientas de Conversión de Ráster a Vector de ArcTool Box y aplicación de topología a las capas vectoriales.

**Tabla 7.**  
*Conversión de Ráster a Vector*



*Nota. Fuente propia.*

Después, se usó la herramienta Merge (Fusionar), por medio de la cual se agruparon los elementos de una misma Clase, teniendo en cuenta la información de GridCode de la imagen Raster de origen. Así fue posible haciendo uso de la función Calcular Geometría, determinar las áreas de cada una de las coberturas de interés en los tres años de estudio. Los resultados gráficos se observan en los Anexos 5, 6 y 7, y en la siguiente tabla se observan los valores numéricos obtenidos en Hectáreas (Ha).

**Tabla 8.**  
*Cálculo de Áreas*

CL C	COBERTURA	AREAS 2010 (Ha)	%	ÁREAS 2017 (Ha)	%	ÁREAS 2024 (Ha)	%
1.1	Zonas urbanizadas	51,45	0,38	68,25	0,51	77,77	0,58
2.3. 1	Pastos Limpios	9013,97	67,10	9451,17	70,35	5155,59	38,38
2.3. 2	Pastos Arbolados	1346,80	10,02	829,63	6,18	4306,90	32,06
4.1. 3	Vegetación Acuática sobre Cuerpos de Agua	1249,24	9,30	408,54	3,04	605,57	4,51
5.1. 2	Lagunas, Lagos y Ciénagas Naturales	1679,68	12,50	2597,89	19,34	2305,16	17,16
	Nubes	93,44	0,70	79,09	0,59	983,63	7,32
	$\Sigma$	<b>13434.6</b>	100	<b>13424.6</b>	100	<b>13434.6</b>	100

*Nota. Fuente propia.*

Comparando los valores obtenidos de las áreas de las coberturas de interés, por cada año de estudio, se obtiene la Tabla 9, en la que se calcularon las diferencias de estos valores entre periodos, así como su comportamiento (aumento, disminución).

**Tabla 9.***Variación en las Áreas de las Coberturas del Suelo de estudio*

Código de Cobertura	Periodo 2010 - 2017			Periodo 2017 - 2024		
	2010 Área (Ha)	2017 Área (Ha)	Diferencia	2017 Área (Ha)	2024 Área (Ha)	Diferencia
1.1	51.45	68.25	16.80	68.25	77.77	9.52
2.3.1	9013.97	9451.17	437.20	9451.17	5155.59	-4295.58
2.3.2	1346.80	829.63	-517.17	829.63	4306.90	3477.27
4.1.3	1249.24	408.54	-840.70	408.54	605.57	197.03
5.1.2	1679.68	2597.89	918.21	2597.89	2305.16	-292.73
7	93.44	79.09	-14.35	79.09	983.63	904.55

1.1: Zonas Urbanizadas; 2.3.1: Pastos Limpios; 2.3.2: Pastos Arbolados; 4.1.3: Vegetación Acuática sobre Cuerpos de Agua; 5.1.2.: Lagunas, Lagos y Ciénagas Naturales; Nubes.

 Aumento en el área  Disminución en el área

Nota. Fuente propia.

Teniendo en cuenta los valores de la Tabla anterior, estos resultados se pueden analizar de la siguiente manera:

**Tabla 10.***Análisis de Variabilidad de áreas*

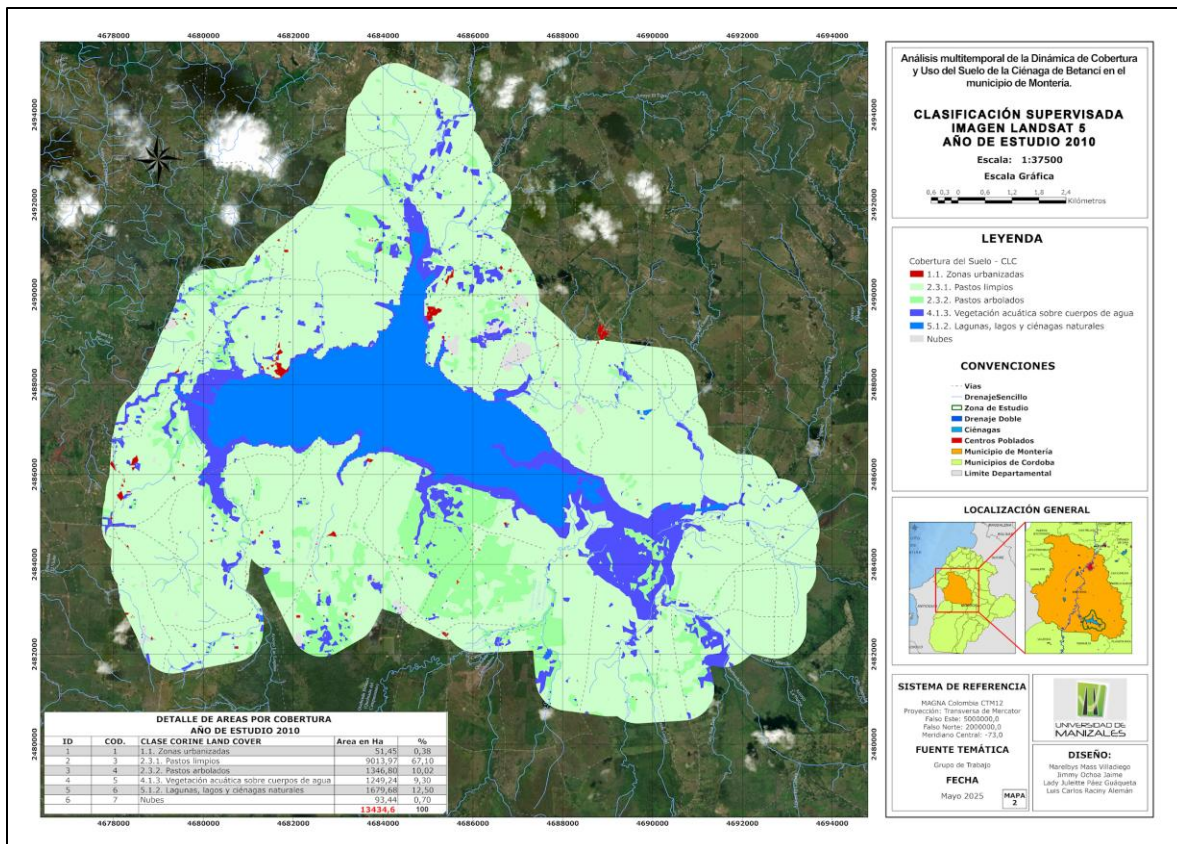
Código de Cobertura	Periodo 2010 – 2017		Periodo 2017 - 2024	
	Aumento	Disminución	Aumento	Disminución
1.1	16.80		9.52	
2.3.1	437.20			4295.58
2.3.2		517.17	3477.27	
4.1.3		840.70	197.03	
5.1.2	918.21			292.73
7		14.35	904.55	

1.1: Zonas Urbanizadas; 2.3.1: Pastos Limpios; 2.3.2: Pastos Arbolados; 4.1.3: Vegetación Acuática sobre Cuerpos de Agua; 5.1.2.: Lagunas, Lagos y Ciénagas Naturales; Nubes.

Nota. Fuente propia.

Teniendo en cuenta los valores de áreas junto con los cambios de aumento y disminución de las coberturas, así como los mapas de Clasificación supervisada se puede establecer que en el año 2010, la cobertura con más presencia fue la de pastos limpios con un área de 8986,14 hectáreas correspondientes al 66,89% del área de estudio, esto considerando los factores antrópicos presentes en la zona para la fecha, evidencia la presencia de la actividad ganadera, la cual se sostiene con el pastoreo para lo cual se talan grandes extensiones de terreno, para dar paso a este tipo de cultivos. Seguida de la cobertura de Lagunas, lagos y ciénagas naturales, la cual ocupa para este mismo año un área de 1679,61 has (12,50%) del total del área de estudio, por otro lado, las coberturas con menor presencia para 2010, son las de zonas urbanizadas y Vegetación acuática sobre cuerpos de agua ocupando áreas de 72,87 has y 1253,43 has que equivalen al 0,54 % y 9,33% respectivamente (Figura 14).

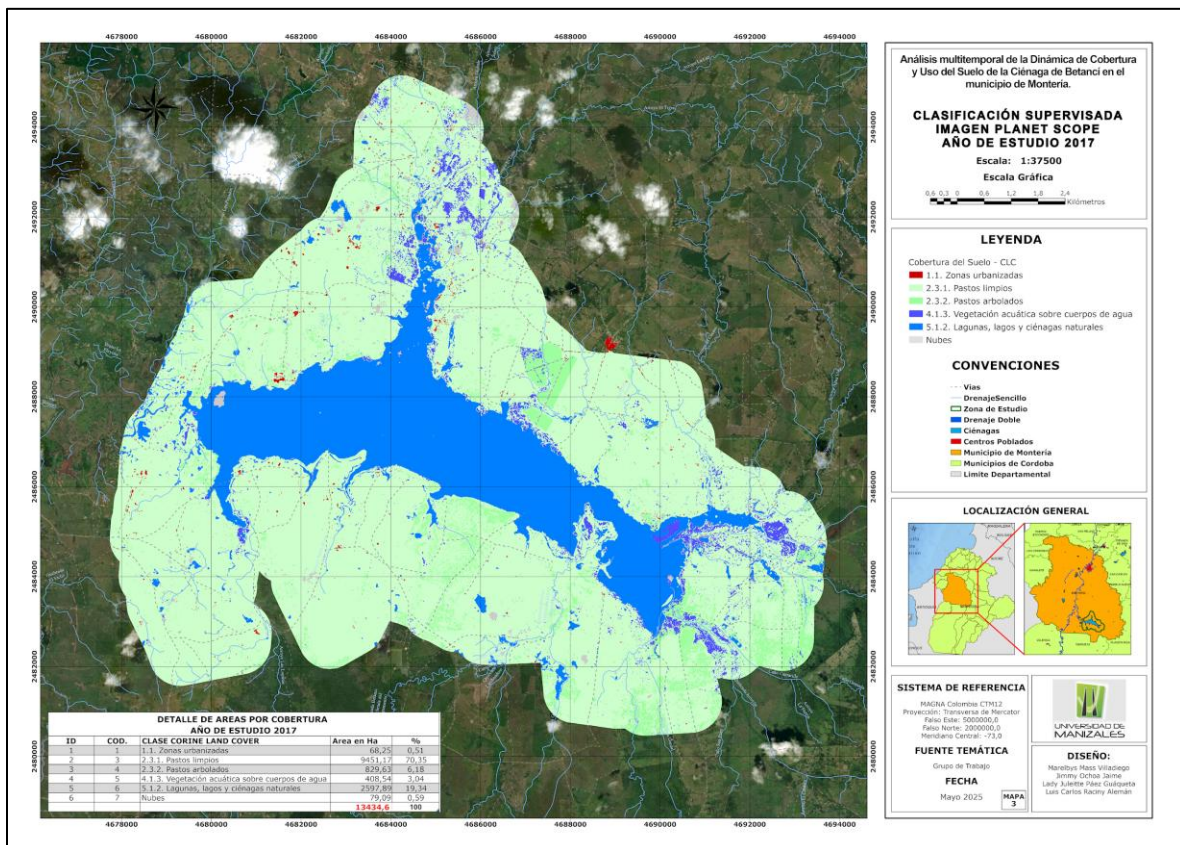
**Figura 14.**  
*Mapa de Clasificación Supervisada Año 2010*



*Nota. Fuente propia*

Respecto al año 2017, con el análisis de clasificación supervisada se encontró que, la clase de cobertura con más presencia son los pastos limpios, con un área de 9451,17 has equivalente al 70,35% del total, seguida de la cobertura de Lagunas, lagos y ciénagas naturales la cual ocupa 2597,89 has correspondiente al 19,34%, en cuanto a las áreas con menor representación esta con un área de 68,25 hectáreas que corresponden al 0,51% del total del área de estudio la cobertura de Zonas urbanizadas; y la cobertura de Pastos arbolados con un área de 820,53 has equivalentes al 6,11% (Figura 15).

**Figura 15.**  
*Mapa de Clasificación Supervisada Año 2017*

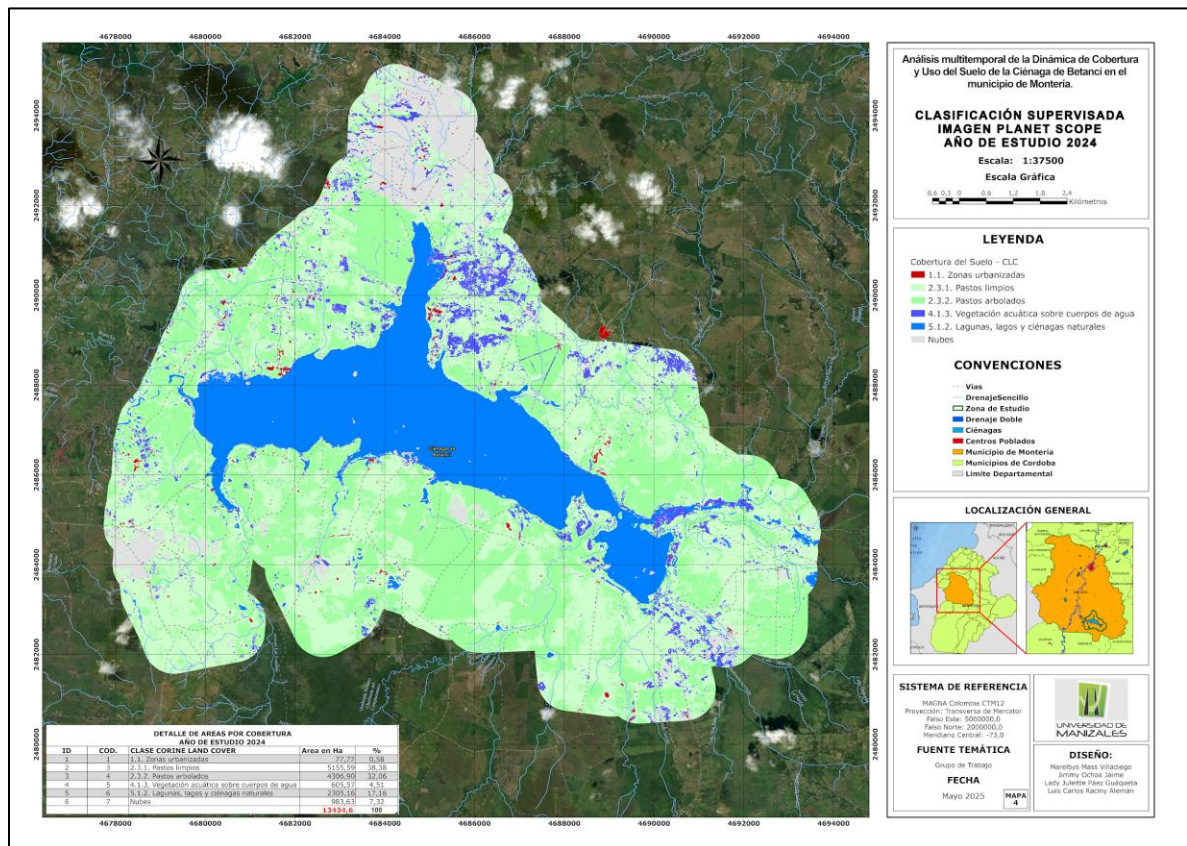


*Nota. Fuente propia*

Finalmente, en el año 2024, el análisis mostró que, aunque disminuyó respecto a los años anteriores la clase de cobertura de Pastos limpios sigue siendo la cobertura predominante con un área de 5107,77 has (38,02%), seguida de Pastos arbolados con 4304,80 has (32,04%), lagunas, lagos y ciénagas naturales la cual cuenta con un área total de 2304,94 has (17,16%) y con menor

presencia en el área de estudio están las clases de coberturas de Zonas urbanizadas con 83,79 has (0,62%) y Vegetación acuática sobre cuerpos de agua 607,51 has que equivalen al 4,52% (Figura 16).

**Figura 16.**  
*Mapa de Clasificación Supervisada Año 2024.*



*Nota. Fuente propia*

### 7.2.5 Fase 8: Análisis Multitemporal

Para obtener el Análisis Multitemporal se usó la Herramienta de Análisis Espacial, Ráster Calculator la cual permitió comparar las coberturas de dos archivos Ráster de dos años diferentes (resultados por año obtenidos de la Clasificación Supervisada), en este caso se compararon los resultados obtenidos de los años 2010 – 2017 y 2017-2024.

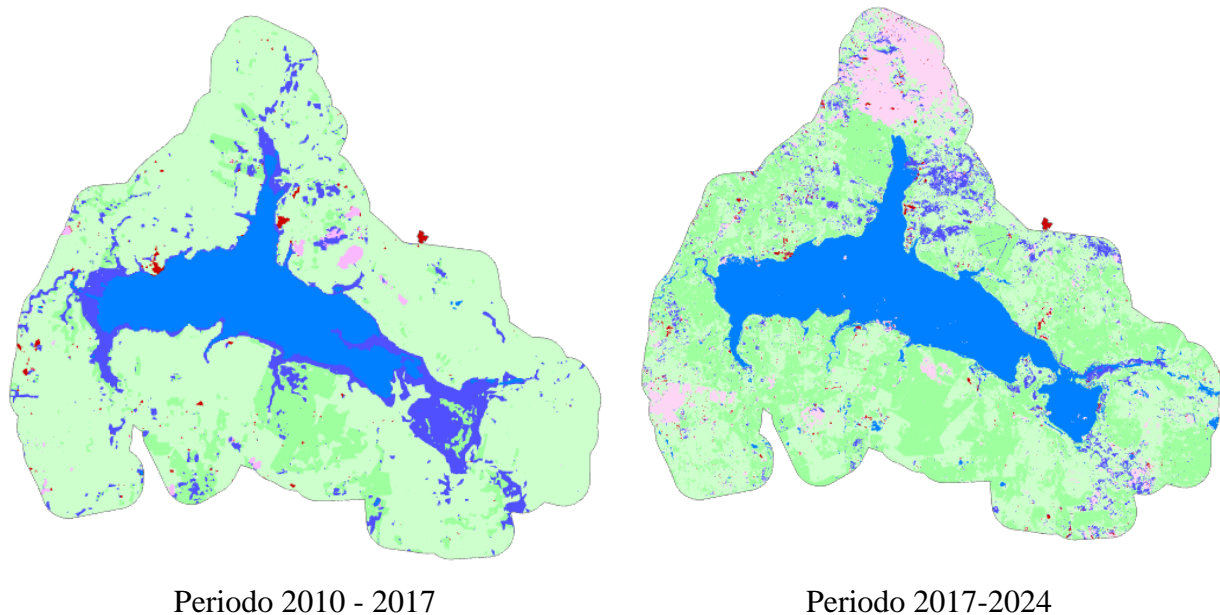
Tal como se observó en el título anterior Calculo de Áreas, se presentaron aumentos y disminuciones en el área de las coberturas de interés que obedece a un cambio en el uso del suelo, por ejemplo, en el periodo 2010 a 2017 se presentó una disminución en la cobertura de Pastos

Arbolados. Sin embargo, con el análisis multitemporal se logró establecer que durante ese periodo de tiempo áreas que durante el 2010 correspondía a Pastos Arbolados se convirtieron en áreas de Pastos Limpios, Zonas urbanizadas, Vegetación Acuática sobre cuerpos de Agua y otras zonas se encuentran cubiertas por agua, y fueron identificadas como Lagunas, lagos y Ciénagas Naturales, lo que puede obedecer esta última a una temporada de lluvias en la región. Siendo consistente lo anterior con el aumento de Hectáreas de Coberturas de Zonas Urbanizadas y Lagunas, lagos y Ciénagas Naturales que se observan en las tablas 8 y 9 del presente informe.

Este cambio en los valores de las áreas está directamente relacionado con las dinámicas existentes entre coberturas que, a su vez se ven afectadas por factores tales como temporadas de lluvias, sequías, ganadería extensiva o aumento de los asentamientos humanos.

A continuación, se puede observar gráficamente estos cambios de coberturas en los periodos de estudio.

**Tabla 11.**  
*Resultados Análisis Multitemporal periodos de estudio*



*Nota. Fuente propia.*

Las tablas 12 y 13 permiten ver numéricamente los cambios entre coberturas comparando los resultados de los periodos 2010-2017 y 2017-2024.

**Tabla 12.***Cambios en las coberturas del Suelo según resultado del Análisis Multitemporal 2010-2017.*

<i>Cambio de Cobertura Periodo 2010 – 2017</i>					
<i>Cambio de Cobertura</i>		<i>Área</i>	<i>Cambio de Cobertura</i>		<i>Área</i>
<i>De</i>	<i>A</i>		<i>De</i>	<i>A</i>	
1.1	4.1.3	0.76	4.1.3	4.1.3	84.54
1.1	1.1	10.46	4.1.3	1.1	3.15
1.1	2.3.2	1.51	4.1.3	2.3.2	55.77
1.1	2.3.1	36.16	4.1.3	2.3.1	451.69
1.1	5.1.2	1.98	4.1.3	5.1.2	644.22
1.1	Nubes	0.59	4.1.3	Nubes	9.87
2.3.1	4.1.3	280.37	5.1.2	4.1.3	14.32
2.3.1	1.1	52.95	5.1.2	1.1	0.18
2.3.1	2.3.2	552.57	5.1.2	2.3.2	0.80
2.3.1	2.3.1	7829.98	5.1.2	2.3.1	28.32
2.3.1	5.1.2	236.75	5.1.2	5.1.2	1632.56
2.3.1	Nubes	61.26	5.1.2	Nubes	3.50
2.3.2	4.1.3	25.79	Nubes	4.1.3	2.76
2.3.2	1.1	1.19	Nubes	1.1	0.32
2.3.2	2.3.2	203.80	Nubes	2.3.2	15.19
2.3.2	2.3.1	1031.77	Nubes	2.3.1	73.25
2.3.2	5.1.2	80.52	Nubes	5.1.2	1.85
2.3.2	Nubes	3.81	Nubes	Nubes	0.05

*Nota. Fuente propia.*

**Tabla 13.** Cambios en las coberturas del Suelo según resultado del Análisis Multitemporal 2017-2024.

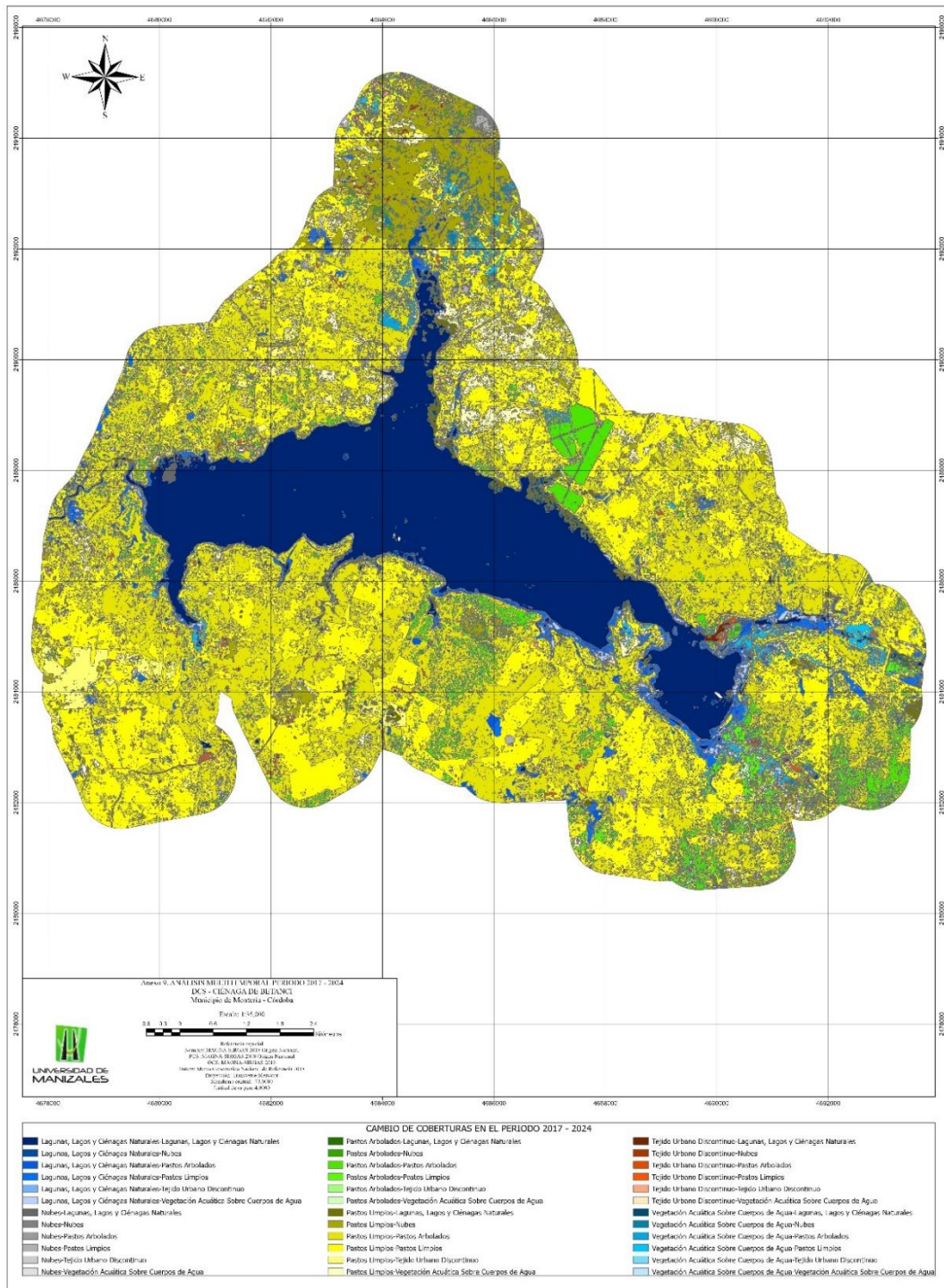
<i>Cambio de Cobertura Periodo 2017-2024</i>					
<i>Cambio de Cobertura</i>		<i>Área (Ha)</i>	<i>Cambio de Cobertura</i>		<i>Área (Ha)</i>
<i>De</i>	<i>A</i>		<i>De</i>	<i>A</i>	
1.1	1.1	14.32	4.1.3	1.1	1.31
1.1	Nubes	14.76	4.1.3	Nubes	63.49
1.1	4.1.3	4.29	4.1.3	4.1.3	3.98
1.1	2.3.1	24.81	4.1.3	2.3.1	176.07
1.1	2.3.2	8.71	4.1.3	2.3.2	96.02
1.1	5.1.2	1.34	4.1.3	5.1.2	40.68
2.3.1	1.1	54.36	5.1.2	1.1	3.87
2.3.1	Nubes	802.20	5.1.2	Nubes	34.12
2.3.1	4.1.3	470.54	5.1.2	4.1.3	68.91
2.3.1	2.3.1	4485.42	5.1.2	2.3.1	216.73
2.3.1	2.3.2	3524.02	5.1.2	2.3.2	143.51
2.3.1	5.1.2	114.52	5.1.2	5.1.2	2130.86
2.3.2	1.1	3.01	Nubes	1.1	0.89
2.3.2	Nubes	53.19	Nubes	Nubes	15.87
2.3.2	4.1.3	26.48	Nubes	4.1.3	4.37
2.3.2	2.3.1	215.75	Nubes	2.3.1	36.76
2.3.2	2.3.2	523.72	Nubes	2.3.2	10.89
2.3.2	5.1.2	7.45	Nubes	5.1.2	10.31

*Nota. Fuente propia.*

De igual manera de esta operación Raster entre periodos de estudio se generaron dos salidas gráficas que permiten observar estos cambios entre coberturas.



**Figura 18.**  
*Resultado Análisis Multitemporal de la Ciénaga de Betancí, en el periodo 2017 – 2024.*



Nota. Fuente propia.

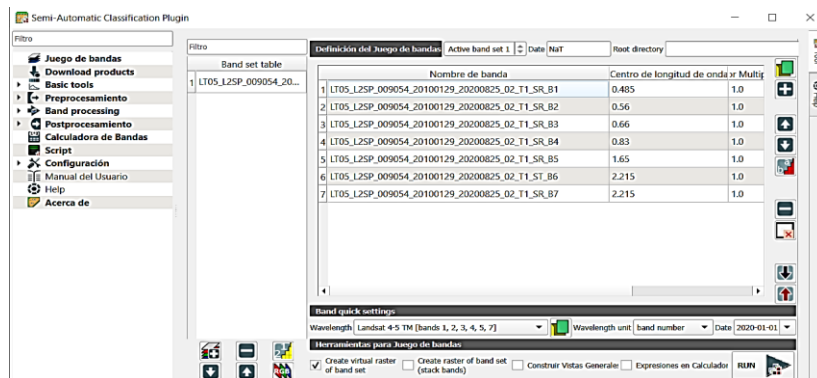
Lo anterior permite determinar que los cambios de aumento y disminución de las áreas de las coberturas en los periodos de estudio obedecen a cambios en el uso del suelo que se presentan debido a condiciones naturales como la radiación, temporada de lluvias o sequía, también a la falta de intervención externa, lo que permite la restauración de la cobertura vegetal natural, pasando de pastos limpios a pastos arbolados, así mismo, en la zona se han adelantado proyectos de reforestación y que han contribuido al aumento de esta clase de cobertura. De igual manera también es evidente en algunos sectores el aumento en la clase de Zonas Urbanizadas a pesar de la declaratoria y fijación del polígono de conservación.

### 7.3 Proceso metodológico para evaluar la calidad del espejo de agua.

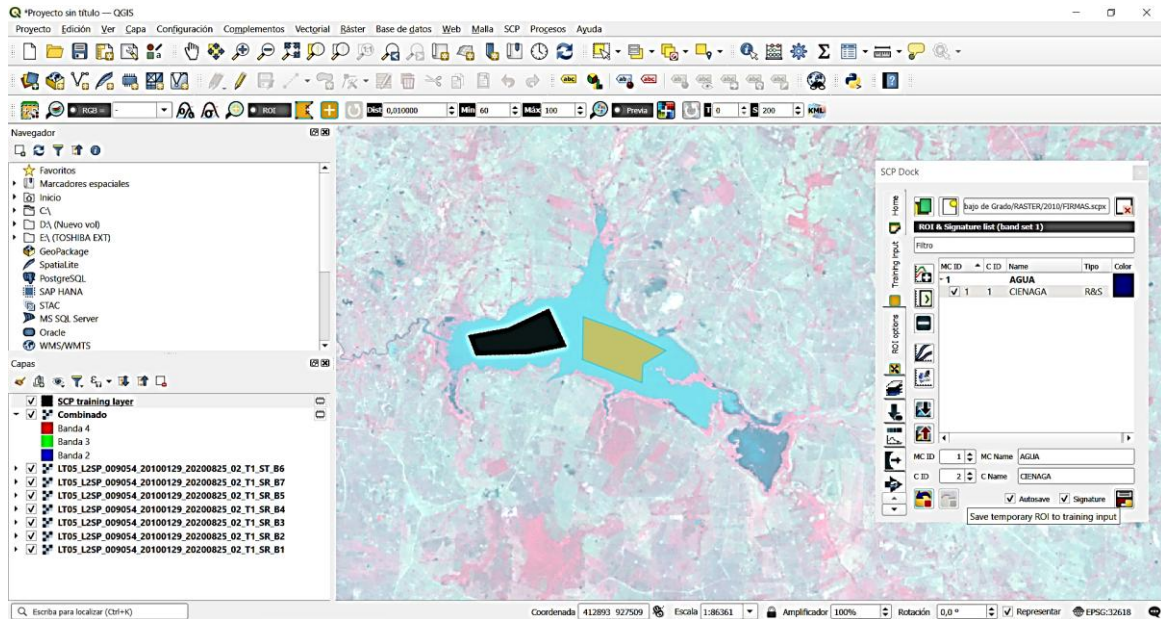
Teniendo en cuenta que las firmas espectrales son la “representación gráfica de la reflectancia o emisión de una superficie en función de la longitud de onda” (IGAC 2024), estas, indican como un objeto puede absorber o reflejar energía permitiendo que se puedan identificar los objetos o superficies y cada uno de estos absorbe, emite y refleja energía de manera diferente (única), estas se generaron para evaluar la calidad del espejo de agua de la ciénaga de Betancí para cada año de estudio, en el sentido de turbidez (partículas en suspensión) así como en su pureza, a partir de las imágenes utilizadas, para el año 2010 se utilizó el software QGIS (Figura 19, 20 y 21). Y para los años 2017 y 2024 se realizó en el software ArcGIS pro.

#### Figura 19.

*Proceso de creación de firmas espectrales en Qgis.*

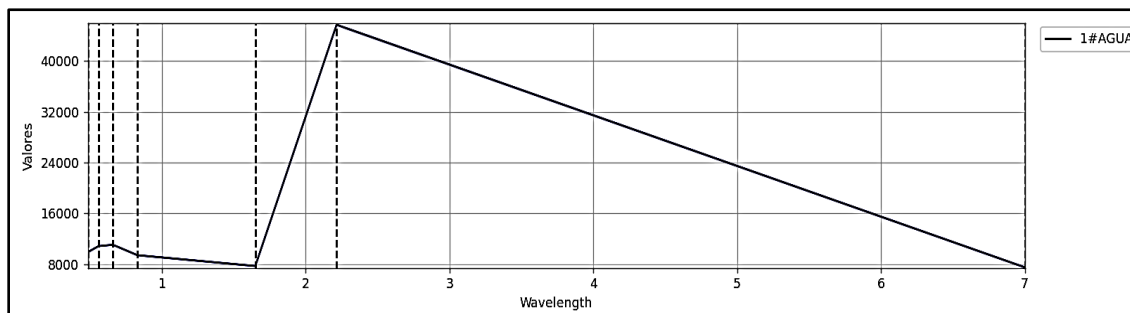


*Nota. Fuente propia*

**Figura 20.** *Procesamiento Firma espectral en Qgis.*

*Nota. Fuente propia.*

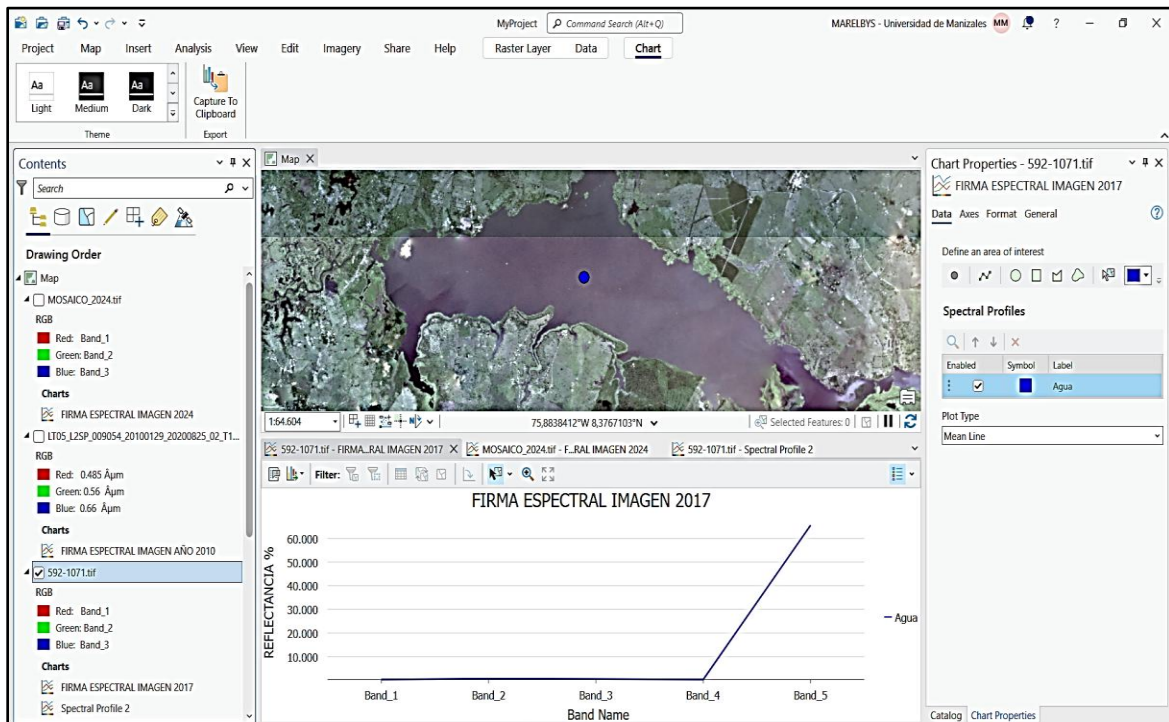
El proceso realizado en QGIS arrojó como resultado que en la imagen Landsat correspondiente al año 2010, se observa un pico en la banda 2 (Verde visible), esto indica un aumento en la reflectancia en el espectro visible y se reduce a medida que se acerca al infrarrojo, esto indica que en el espejo de agua de la ciénaga de Betancí hay presencia de sedimentos suspendidos, esto denota un aumento en la longitud de onda del rojo, la presencia de sedimentos en suspensión en el espejo de agua puede deberse a factores como la deforestación en las cuencas altas, incluida la cuenca de Río Sinú la cual aporta agua a esta.

**Figura 21.** *Firma Espectral 2010 en Qgis.*

*Nota. Fuente propia*

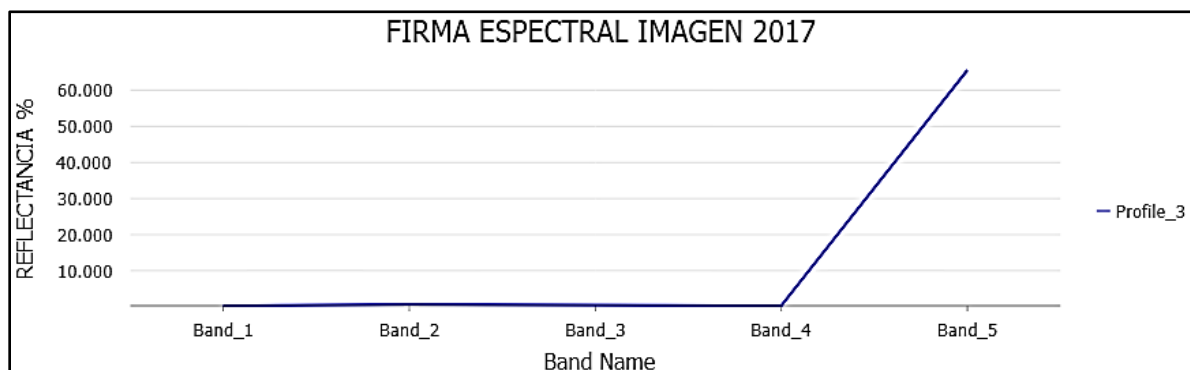
Como se dijo anteriormente, para el análisis de los años 2017 y 2024, se utilizaron imágenes Planet Scope, por tanto, para generar las firmas espectrales del espejo de agua se utilizó el Software ArcGIS Pro.

**Figura 22.**  
Creación de firmas espectrales en ArcGis PRO año 2017.



*Nota. Fuente propia*

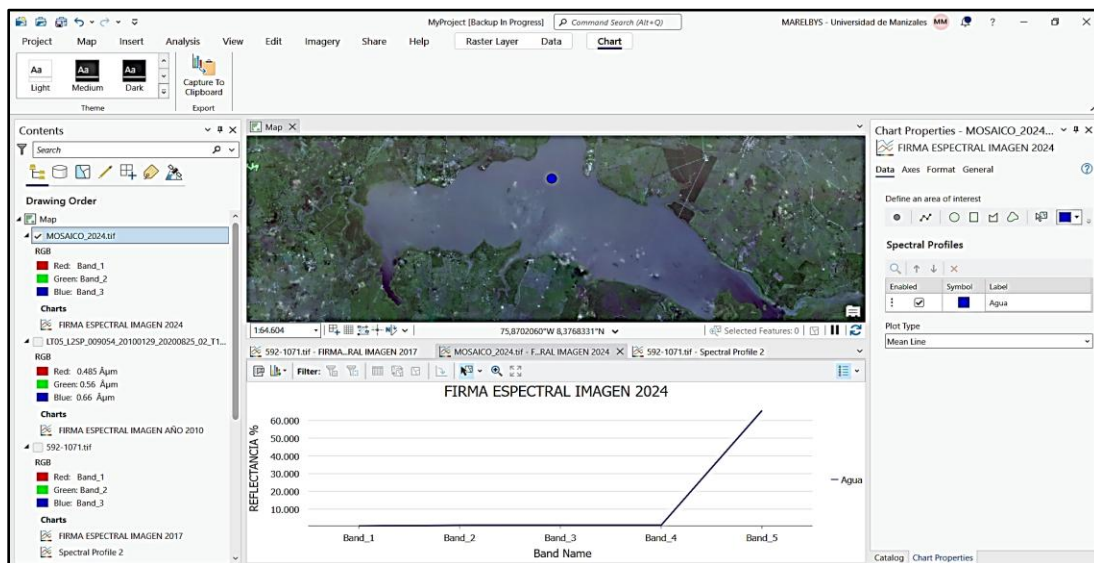
**Figura 23.**  
Gráfico de Firma Espectral generado en ArcGis PRO año 2017.



*Nota. Fuente propia*

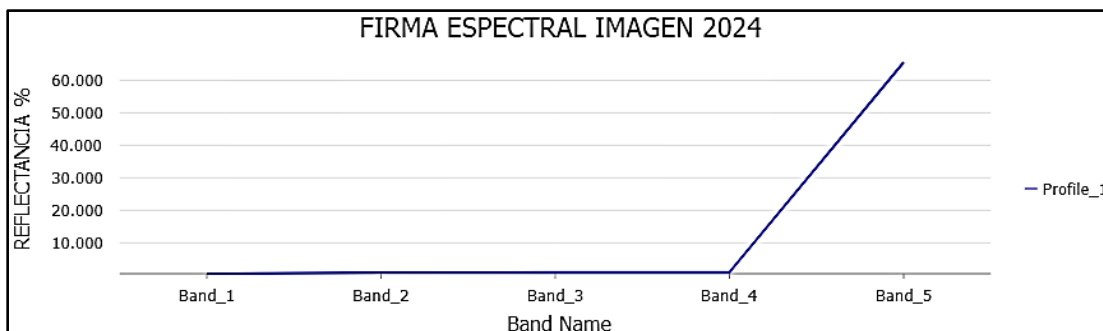
Como se puede observar en el comportamiento de la firma espectral para el año 2017, el cual evidencia que es constante hasta la banda 4 donde asciende y aumenta la reflectancia en la banda 5, que para el caso de Planet Scope esta corresponde al infrarrojo cercano (NIR). Lo que indica que el cuerpo de agua tiene concentración de sedimentos, por lo que habíamos mencionado, puede estar ocurriendo procesos de deforestación en las cuencas de los drenajes que desembocan en la ciénaga de Betancí, así como las actividades antrópicas en el área de influencia de este. El mismo comportamiento se evidencia en el perfil espectral del año 2024.

**Figura 24.**  
*Creación de firmas espectrales en ArcGis PRO año 2024*



*Nota. Fuente propia*

**Figura 25.** *Creación de firmas espectrales en ArcGis PRO año 2024*

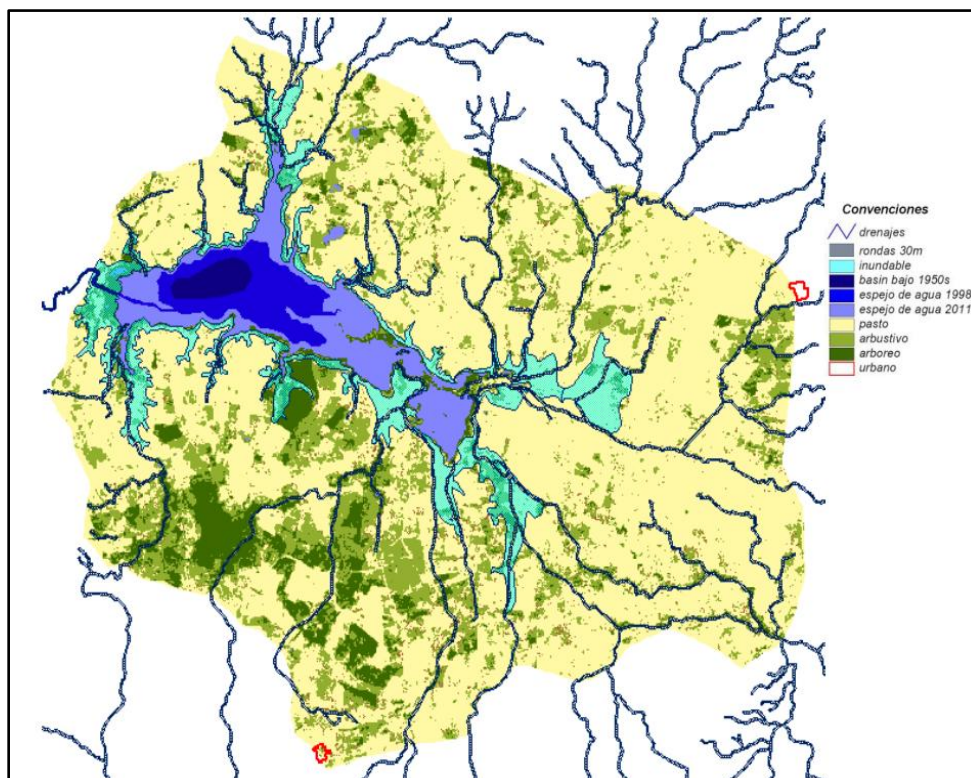


*Nota. Fuente propia*

De otra parte, al revisar la cartografía disponible del sector, se puede observar que hay una gran cantidad de drenajes que desembocan en la Ciénaga de Betancí, y que hacen parte de la cuenca media del Río Sinú, por lo que, se puede concluir que los impactos de lo que ocurre en estas repercute directamente en la zona de estudio, que, más allá de ser un área protegida de carácter nacional como lo es un Distrito de Conservación Suelo por si sola, es importante que hoy día las normas, leyes, programas y/o proyectos prevean las repercusiones que pueden ocasionar las actividades que se desarrollan fuera del áreas protegidas, en el sentido de que son parte de un gran ecosistema donde todo está conectado siendo parte de un sistema que no son elementos aislados.

**Figura 26.**

*Red de drenaje Ciénaga de Betanci.*



*Nota. Fuente PMA-CVS*

#### **7.4 Proceso metodológico para la estructuración de una base de datos geográfica.**

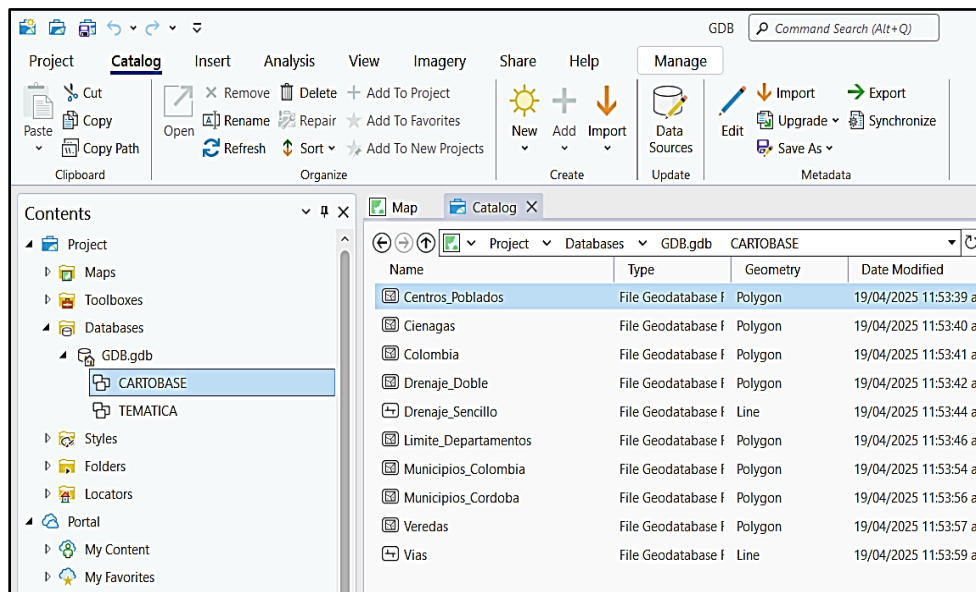
Teniendo en cuenta que la GDB permite almacenar de manera organizada la información necesaria para realizar el análisis multitemporal en la zona de estudio, se realizó en el software

ArcGIS PRO, ya que este software cuenta con la facilidad de crear un archivo tipo (.gdb) por defecto al momento en el que se crea el proyecto.

En esta para ordenar mejor la información de crearon dos paquetes de capas (FEATURE DATASET) denominados CARTOBASE donde se almacenaron las capas correspondientes a vías, centros poblados, limites, ciénaga, drenajes etc., asimismo, se creó el Dataset denominado TEMATICA, en este se almaceno la infracción del área de estudio, la zonificación de PMA del DCS Ciénaga de Betancí y las capas resultantes del análisis multitemporal para los años 2010, 2017 y 2024.

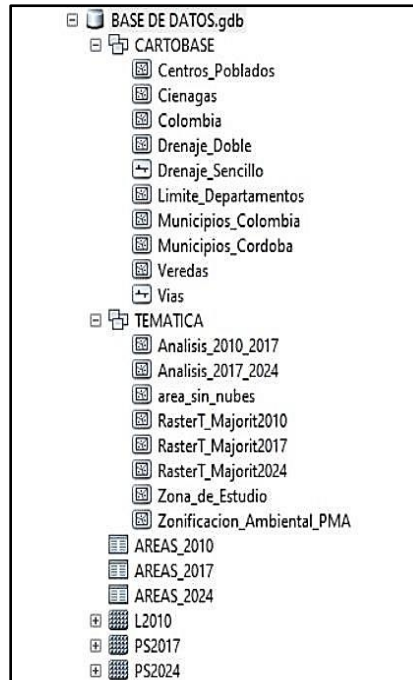
Así mismo, se almacenaron las imágenes utilizadas para los diferentes años de estudio y las tablas de datos de áreas producto de la clasificación supervisada realizada para estos. Las figuras 27 y 28 muestran la estructura de la GDB (desde Arcgis PRO y ArcMAP) creada para el almacenamiento de la información resultante del estudio, de tal manera que permite una mejor administración de estas para el mapeo y análisis de los cambios en las coberturas para los años 2010, 2017 y 2024.

**Figura 27.** Estructura de GDB en ArcGis Pro



*Nota. Fuente propia*

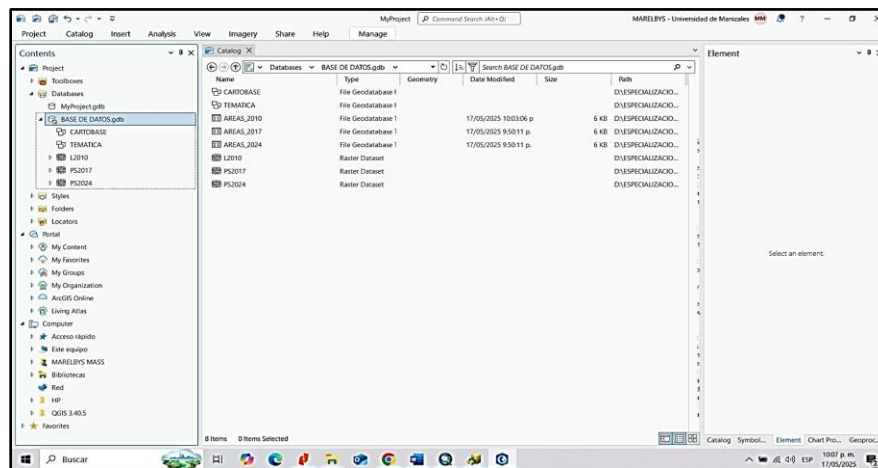
**Figura 28.**  
Estructura de GDB Final en ArcMAP



*Nota. Fuente propia*

Como resultado se obtiene un archivo en formato APRX nativo del Software ArcGis Pro, y su correspondiente conexión con la respectiva GDB (figura 29), en la cual se pueden observar y consultar tanto los insumos como los resultados mencionados en las Fases 4 a la 8 de este documento (Anexo 2).

**Figura 29.**  
*Conexión a GDB final en ArcGis Pro.*



*Nota. Fuente propia*

## 8 Discusión

Los resultados del análisis multitemporal de la cobertura y uso del suelo en la Ciénaga de Betancí evidencian una transformación progresiva del paisaje, impulsada principalmente por factores antrópicos y agravada por la falta de atención y gestión efectiva por parte de los entes territoriales competentes. A pesar de que la zona fue declarada como Distrito de Conservación del Suelo desde 2017 y cuenta con un plan de manejo ambiental desde 2014, la persistencia y expansión de actividades humanas no reguladas indican una inoperancia institucional y una ausencia de control y vigilancia efectiva en el territorio. Esta falta de intervención sostenida ha permitido que dinámicas de ocupación irregular, expansión urbana y uso inadecuado del suelo se consoliden sin freno, contrariando los objetivos de conservación establecidos.

Uno de los factores más críticos identificados es el aumento de los asentamientos humanos en las zonas aledañas y dentro del polígono de conservación. Este crecimiento no planificado responde, en gran medida, a la expansión de la red vial en la zona, la cual ha facilitado el acceso a áreas antes de difícil alcance. La construcción y mejoramiento de vías actúan como un catalizador del desarrollo urbano informal, promoviendo la invasión de tierras y la consolidación de núcleos poblacionales sin servicios básicos ni ordenamiento territorial. Esta dinámica refleja una planificación urbana fragmentada, que prioriza la conectividad sobre la conservación ecológica, sin considerar el impacto acumulativo sobre la Ciénaga.

Paralelamente, se observa un incremento significativo de los pastos limpios, que se traduce directamente en el fortalecimiento de prácticas de ganadería extensiva, principal actividad económica en el área. Esta cobertura ha dominado gran parte del paisaje de estudio, como se evidenció en 2010 con más de 8.900 hectáreas, lo que evidencia una transformación directa de humedales y vegetación nativa en áreas ganaderas. La tala de vegetación para la apertura de pastizales no solo degrada el ecosistema, sino que contribuye a la pérdida de biodiversidad, la disminución de la calidad del agua y la alteración de los flujos hídricos naturales, reduciendo la resiliencia del humedal ante eventos extremos.

Un factor antrópico puntual de alto impacto ha sido la construcción del dique denominado “La Tapa”, una obra que, aunque pudo haber sido concebida con fines de control hídrico o defensa contra inundaciones, ha alterado significativamente la hidrología natural de la ciénaga. Esta intervención ha generado cambios en los niveles de inundación, afectando la regeneración de especies hidrófilas y fragmentando hábitats. Además, ha facilitado la ocupación de zonas que antes estaban bajo influencia de inundaciones estacionales, abriendo paso a nuevas actividades productivas y asentamientos.

A estos factores se suma el cambio climático, que ha intensificado las variaciones en los regímenes de precipitación (sequías e inundaciones extremas), afectando tanto la cobertura vegetal como la dinámica hídrica del humedal. Si bien algunos procesos naturales como la recuperación de pastos arbolados podrían interpretarse como señales de resiliencia ecológica, su coexistencia con la expansión urbana y ganadera sugiere un paisaje en constante tensión, donde las presiones antrópicas superan con creces las capacidades de autorregulación del ecosistema.

En conjunto, estos resultados indican que, pese a los instrumentos de gestión ambiental existentes, la Ciénaga de Betancí enfrenta una crisis de gobernanza territorial. La combinación de expansión vial, asentamientos informales, ganadería extensiva, obras de infraestructura mal planificadas y el contexto climático adverso configura un escenario de degradación progresiva. Por lo tanto, es urgente que los entes territoriales adopten una mirada integral, fortalezcan la vigilancia ambiental, restablezcan los límites del polígono de conservación y promuevan estrategias de manejo participativo que equilibren el desarrollo humano con la preservación del humedal, un ecosistema estratégico para la región.

## 9 Conclusiones

El análisis integral de la información gráfica, así como alfa-numérica, tanto recopilada como obtenida de los procesos y procedimientos permitió obtener un amplio panorama de los cambios que a través de los periodos de estudio 2010-2017 y 2017-2024.

La diferencia en la resolución espacial de las imágenes utilizadas (Landsat 30 x 30m pixel y Planet Scope 3x3 m pixel) es decir que cada pixel en la imagen representa 30 m de terreno en la imagen Landsat y 3 metro para la Planet Scope, no permitió que en la cobertura de zonas urbanizadas se llegara al nivel 3 como tal las demás coberturas analizadas, para esta se llegó al nivel 2 (1.1. Zonas Urbanizadas).

Desde el punto de la evaluación de la Calidad del Espejo de Agua de la Ciénega de Betancí entre los años 2010 – 2024, evidenciándose reflectancia en las diferentes bandas del espectro, lo que indica que hay presencia de elementos que pueden estar afectando el comportamiento normal del ecosistema acuático de la Ciénega de Betancí.

Además de lo anterior, se pudo concluir que la Ciénega de Betancí presenta sedimentación en diferentes partes lo que ha generado turbidez en el agua, con la particularidad que a lo largo del tiempo estudiado no hay variabilidad en los valores de reflectancia en las diferentes bandas del espectro, lo que indica que no ha habido una recuperación ecológica o que esta viene dándose lentamente a pesar de ser un área protegida desde el año 2017. Cabe anotar que el anterior trabajo de investigación no tiene alcance para identificar los fenómenos que pueden estar ocasionando este resultado, sin embargo, se puede decir que en la zona hay gran cantidad de actividades antrópicas que afectan de manera directa en el humedal.

Es así que, a partir de las firmas espectrales se pudo determinar que el agua de la Ciénega de Betancí presenta un aumento significativo de la reflectividad en la banda de infrarrojos, lo que es evidencia de la presencia de sedimentos que pueden estar generando un cambio sustancial en su composición, y afectando su calidad, la conservación y mantenimiento de su biodiversidad y con

ello su funcionamiento ecosistémico en la prestación de servicios y suministro de bienes ambientales.

Por otro lado, el resultado del cálculo de áreas de las diferentes coberturas que presenta el ecosistema de la Ciénega de Betancí, en general permite evidenciar que el uso del suelo de dicha área ha sido modificado y condicionado por actividades antrópicas. Para el año 2017 se observa una recuperación del cuerpo de agua de la Ciénega de Betancí, producto tal vez de las diferentes acciones adelantadas por parte de la corporación ambiental tendientes a la recuperación, protección y mantenimiento del ecosistema, las cuales quedaron establecidas en el Acuerdo 351 de 2017 por el cual se declara el DCS de la Ciénega de Betancí y se dictan las normas para su administración y manejo sostenible.

Sin embargo, pese a ser considerado desde el año 2017 como distrito de conservación de suelos y contar con un Plan de Manejo Ambiental desde el año 2014, para el año 2024 se observa que actividades como la urbanización vuelven a recuperar espacio y que además se sigue utilizando parte de su suelo para el desarrollo de actividades como la ganadería, sin embargo también se evidencia un aumento considerable de la cobertura de Pastos Arbolados, lo que indica que si bien aún persisten actividades humanas que implican la deforestación, la presencia de vegetación de altura es un indicador de recuperación de la cobertura natural.

En definitiva, los resultados anteriores, producto de la cuantificación de los datos obtenidos de los cambios de las coberturas y usos del suelo de la Ciénega de Betancí, ofrecen un panorama que permite determinar qué tan eficientes y eficaces han sido las diferentes acciones adelantadas en procura de lograr la conservación de la Ciénega y sus ecosistemas, así como también sirven como guía para la toma de decisiones, conforme con los resultados obtenidos.

Llevar a cabo este Análisis Multitemporal del DCS Ciénega de Betancí, permitió observar la importancia de esta herramienta para la planificación en la toma de decisiones y acciones sobre temas de conservación e importancia ambiental no solo a nivel regional sino nacional. La incorporación de los SIG, de la mano del procesamiento de imágenes satélites permite analizar el territorio desde un punto de vista más amplio no solo en área sino también en tiempo y cantidad de

variables a analizar, lo que permite que el análisis sea mucho más completo y por ende las conclusiones o decisiones sean más acertadas.

El uso de los SIG para el almacenamiento y administración de la información recolectada del DCS Ciénega de Betancí, organizadas en carpetas CARTOBASE, TEMATICA, RASTER y tablas, facilitó el manejo y la utilización de los datos indispensables para adelantar la creación y procesamiento de la información geográfica necesaria para llevar a cabo el análisis multitemporal de la Dinámica de cobertura y uso del Suelo de la Ciénega de Betancí en el municipio de Montería, lo que sin duda alguna demuestra que los SIG son una herramienta fundamental y necesaria para adelantar estudios territoriales y espaciales.

## 10 Recomendaciones

Fortalecer la gestión interinstitucional y la vigilancia ambiental.

Se recomienda que los entes territoriales competentes, como la Corporación Autónoma Regional (CAR), la Alcaldía de Montería y las autoridades de ordenamiento ambiental, fortalezcan la coordinación interinstitucional para garantizar el cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental de la Ciénaga de Betancí. Es fundamental establecer mecanismos de vigilancia continua, inspección y control sobre actividades ilegales como la invasión de suelos, la tala de vegetación y el pastoreo no regulado, con el fin de prevenir la degradación progresiva del ecosistema.

Actualizar y aplicar un Plan de Ordenamiento Territorial (POT) con enfoque ecológico.

Si bien el DCS está incluido dentro del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Montería, este debe garantizar la aplicación del régimen de usos dispuesto en el Plan de Manejo Ambiental aprobado en los estudios para la declaratoria del área protegida, adoptados mediante el Acuerdo 351 del 6 de diciembre de 2017.

Regular el uso de suelo y las prácticas ganaderas.

Se recomienda implementar un programa de ordenamiento de las actividades ganaderas en el área, promoviendo prácticas de pastoreo sostenible y la recuperación de pastizales degradados. La conversión continua de humedales y vegetación nativa en pastos limpios debe ser detenida mediante regulaciones claras, acompañadas de incentivos para la conservación y la agrosilvicultura, ya que no se puede desconocer que la ganadería es la principal actividad económica de la región y no puede ser eliminada en su totalidad.

Evaluar y gestionar obras de infraestructura con enfoque ambiental.

Se debe realizar una evaluación ambiental integral del dique conocido como “La Tapa”, con el fin de analizar su impacto en la hidrología natural de la ciénaga. Se recomienda que futuras

obras de infraestructura en zonas húmedas requieran estudios de impacto ambiental previos, con participación de expertos en ecosistemas acuáticos y comunidades locales.

Promover la educación ambiental y la participación comunitaria.

Es fundamental desarrollar programas de educación ambiental dirigidos a las comunidades asentadas en el entorno de la ciénaga, con el fin de fomentar la apropiación social del humedal como un bien común estratégico. La participación de los habitantes en procesos de monitoreo ciudadano, reforestación y conservación fortalecerá la gobernanza local y reducirá la presión antrópica.

Implementar monitoreo continuo con tecnologías geoespaciales.

Se recomienda que las autoridades ambientales adopten herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG) para el monitoreo permanente del uso y cobertura del suelo. La actualización periódica de mapas de cobertura permitirá detectar a tiempo cambios no deseados y evaluar la efectividad de las políticas de conservación.

Integrar el cambio climático en la planificación territorial.

Dado que los eventos climáticos extremos afectan directamente la dinámica del humedal, se recomienda incorporar escenarios de cambio climático en los planes de gestión ambiental. Esto incluye la restauración de zonas de amortiguamiento, la conservación de corredores ecológicos y la promoción de infraestructura verde que aumente la resiliencia del ecosistema.

Implementar Programas y proyectos de reforestación.

Adoptar programas de reforestación con especies nativas que permitan la restauración del paisaje natural de la Ciénaga, que contribuya con la recuperación de la estructura ecológica principal, ofreciendo refugio y alimento para aves nativas y migratorias.

Vincular de manera integral a las comunidades residentes del DCS Ciénaga de Betancí

Generar estrategias y ejecutar proyectos de la mano de las comunidades permanentes o flotantes de la Ciénaga, esto con el fin de incorporar a los habitantes, pescadores, vecinos o cualquier individuo que tenga un vínculo con este entorno natural, para que se apropien no solo del territorio sino de las políticas de protección y conservación. Esta meta se logra cuando se dejan de lado las políticas sancionatorias o restrictivas y se da paso a procesos de información y capacitación donde las comunidades entienden y adoptan el concepto de conservación en beneficio de todos, ya que una Ciénaga protegida, en buen estado de conservación, con fauna y flora abundantes, representa más beneficios a largo plazo que un ecosistema degradado deteriorado, con fecha de caducidad para sus recursos.

## 11 Referencias

- Acuña Ortiz, A. F. (2018). *Análisis multitemporal de áreas boscosas naturales a partir de un NDVI, y la influencia de las actividades antrópicas en el área límite entre Colombia y Ecuador* (Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada). Repositorio Institucional UMNG. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/4f45044b-75dc-42d8-a5eb-ff501030c18a/content>
- Alikhani, S., Nummi, P., & Ojala, A. (2021). Urban Wetlands: A Review on Ecological and Cultural Values. *Water*, 13(22), 3301. <https://doi.org/10.3390/w13223301>
- Alzate Giraldo, G. A. (2017). *Análisis multitemporal por teledetección de coberturas para las veredas Las Palmas y Pantanillo del municipio de Envigado, Antioquia* (Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia). Repositorio Institucional de la Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repositorio.ucm.edu.co/server/api/core/bitstreams/cce5daed-8243-48ce-8478-3912e40fb1c0/content>
- American Psychological Association. (2020). Publication manual of the American Psychological Association (7th ed.). <https://doi.org/10.1037/0000165-000>
- Arrieta Torres, P., Trujillo Padillas, J., & Arrieta Almario, A. (2018). Análisis de aspectos ambientales generados por las prácticas ganaderas en el área de influencia de la ciénaga de Betancí en el municipio de Montería (Colombia), *Revista ESPACIOS*, 39, 24. [a18v39n44p24.pdf](https://doi.org/10.18861/espacios.v39n44p24)
- Ávila, D. D. (2015). Análisis multitemporal de imágenes Landsat para evaluar las variaciones de la cobertura vegetal emergente en la laguna Leonero, Granma, Cuba / Multitemporal Landsat image analysis to assess variations in emergent vegetation cover in Leonero lagoon, Granma, Cuba. *Revista Del Jardín Botánico Nacional*, 36, 47–53. <http://www.jstor.org/stable/43840195>
- Ávila, A. (2019). *Análisis y clasificación de firmas espectrales utilizando técnicas de aprendizaje automático* (Tesis de maestría, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica). Repositorio Institucional INAOE. <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1009/1677>.
- Ballut-Dajud, G. A., Sandoval Herazo, L. C., Fernández-Lambert, G., Marín-Muñiz, J. L., López Méndez, M. C., & Betanzo-Torres, E. A. (2022). Factors Affecting Wetland Loss: A Review. *Land*, 11(3), 434. <https://doi.org/10.3390/land11030434>
- Bassi, N., Kumar, M. D., Sharma, A., & Pardha-Saradhi, P. (2014). Status of wetlands in India: A review of extent, ecosystem benefits, threats and management strategies. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2014.07.001>
- Barboza Castillo, E., Camán Aliaga, D., Guiop Servan, R., & Puerta Culqui, J. (2024). ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE CUERPOS DE AGUA Y SU PREDICCIÓN AL 2031 EN AMAZONAS, PERÚ. *Revista De Investigación Hatun Yachay Wasi*, 4(1), 7–23. <https://revistas.utea.edu.pe/index.php/hyw/article/view/81/102>.
- Brown, C. J., Adame, M. F., Buelow, C. A., Frassl, M. A., Lee, S. Y., Mackey, B., McClure, E. C., Pearson, R. M., Rajkaran, A., Rayner, T. S., Sievers, M., Saint Ange, C. A., Sousa, A. I.,

- Tulloch, V. J. D., Turschwell, M. P., & Connolly, R. M. (2021). Opportunities for improving recognition of coastal wetlands in global ecosystem assessment frameworks. *Ecological Indicators*, 126, 107694. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107694>.
- Cárdenas, C. (2020). *Análisis de la Dinámica Espacial de la Ciénaga de Betancí durante los años 1985, 2001, 2015 y 2020 mediante imágenes satelitales Landsat*. Universidad de Córdoba.
- Cárdenas Angulo, C. A. (2020). *Análisis de la dinámica espacial de la Ciénaga de Betancí durante los años 1985, 2001, 2015 y 2020 mediante imágenes satelitales Landsat* (Trabajo de grado, Universidad de Córdoba). Repositorio Institucional de la Universidad de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/5ad1741a-813a-4fd5-851d-82762e8faf68/content>
- Chuvieco, E. (2002) *Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ed Ariel, Barcelona (España).
- [https://www.google.com.co/books/edition/Teledeteccion\\_ambiental/aKsNXCVcTcQC?hl=es-419&gbpv=1&dq=emilio+chuvieco&pg=PP1&printsec=frontcover](https://www.google.com.co/books/edition/Teledeteccion_ambiental/aKsNXCVcTcQC?hl=es-419&gbpv=1&dq=emilio+chuvieco&pg=PP1&printsec=frontcover)
- Contraloría de Córdoba. (2011). Informe de auditoría gubernamental con enfoque integral: Desarrollo sostenible del departamento de Córdoba (Informe interno).
- Córdoba, E., Puentes, M., & Otero, L. (2006). Análisis de imágenes Landsat-7 ETM+ para determinar la cobertura del suelo de la zona costera de la bahía de Tumaco. Popayán: Universidad del Cauca.
- Córdoba Hernández, R., & Camerin, F. (2024). The application of ecosystem assessments in land use planning: A case study for supporting decisions toward ecosystem protection. *Futures*, 161, 103399. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2024.103399>
- Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS). (2016). Convenio especial de cooperación científica y tecnológica N.º 015-2016 entre la CVS y la Fundación Bosques y Humedales para iniciar los estudios para la declaratoria de un área protegida en la Ciénaga de Betancí. <https://runap.parquesnacionales.gov.co/area-protegida/1289>
- Dallmeier, F., Szaro, R. C., Alonso, A., Comiskey, J., & Henderson, A. (2013). Framework for Assessment and Monitoring of Biodiversity. In *Encyclopedia of Biodiversity* (pp. 545–559). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00316-6>
- Davidson, N. C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65(10), 934–941. <https://doi.org/10.1071/MF14173>
- Díaz Caravantes, R. E., Bravo Peña, L. C., Alatorre Cejudo, L. C., & Sánchez Flores, E. (2014). Análisis geoespacial de la interacción entre el uso de suelo y de agua en el área peri-urbana de Cuauhtémoc, Chihuahua. Un estudio socioambiental en el norte de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (83), 116-130. <https://doi.org/10.14350/rig.32694>
- Drozd, A. y Fernández, V (2016). Caracterización de firmas espectrales en distintos tramos del río Uruguay y su relación con variables biológicas y físicas del agua. En De Leon (eds). Informe

- de actividades de investigación de la subcomisión de medio ambiente y uso sostenible del agua estudio de la calidad del agua en el río Uruguay vigilancia de playas y estado trófico (pp.298-308) Editorial: CARU.  
[https://www.researchgate.net/publication/317385108\\_capitulo\\_vii\\_caracterizacion\\_de\\_firmas\\_espectrales\\_en\\_distintos\\_tramos\\_del\\_rio\\_uruguay\\_y\\_su\\_relacion\\_con\\_variables\\_biologicas\\_y\\_fisicas\\_del\\_agua](https://www.researchgate.net/publication/317385108_capitulo_vii_caracterizacion_de_firmas_espectrales_en_distintos_tramos_del_rio_uruguay_y_su_relacion_con_variables_biologicas_y_fisicas_del_agua)
- ESRI. (2025). ¿Qué es una geodatabase de archivos? ArcGIS Desktop.  
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/administer-file-gdbs/file-geodatabases.htm>
- Fernández-Maldonado, V., Navas, A. L., Fabani, M. P., Mazza, G., & Rodríguez, R. (2024). A Multi-Temporal Analysis on the Dynamics of the Impact of Land Use and Land Cover on NO<sub>2</sub> and CO Emissions in Argentina for Sustainable Environmental Management. *Sustainability*, 16(11), 4400. <https://doi.org/10.3390/su16114400>
- Finlayson, C. M., Davidson, N. C., Pritchard, D., & Milton, G. R. (2005). Ecosistemas y bienestar humano: Humedales y síntesis del agua. Millennium Ecosystem Assessment. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.358.aspx.pdf>
- Fuentes Delgado, J. E., & Santana Rodríguez, L. M. (2025). Evolución de los glaciares tropicales de Colombia (2010-2023) utilizando herramientas geoespaciales. *Revista de Geografía Norte Grande*, (91). <https://revistanortegrande.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/80882/67252>
- Fuentes Delgado, J. E., & Santana Rodríguez, L. M. (2025). Evolución de los glaciares tropicales de Colombia (2010-2023) utilizando herramientas geoespaciales. *Revista De Geografía Norte Grande*, (91). <https://revistanortegrande.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/80882/67252>
- Galvan, J. (2022). *Análisis multitemporal de la dinámica hidrológica de la Ciénaga de Betancí, por medio de imágenes de satélites entre los años 1985 y 2020* (Trabajo de especialización, Universidad de Manizales). <https://ridum.umanizales.edu.co/items/796ef6b3-81f8-487b-bf45-e5d84ab99af4>
- García-Lozano, F., Martínez, J., Pérez, A., & Rodríguez, L. (2019). Análisis multiespectral para la estimación de la turbidez como indicador de la calidad del agua en embalses del estado de Chihuahua, México. *Revista Geográfica de América Central*, 62(1), 33–49. <https://www.redalyc.org/journal/4517/451755940002>
- Garcés Villalba, J. D., & Flores Vergara, A. A. (2014). Evaluación de la calidad física y microbiológica del agua en la ciénaga de Betancí, Departamento de Córdoba – Caribe colombiano. En *Memorias del II Seminario de Ciencias Ambientales Sue-Caribe & VII Seminario Internacional de Gestión Ambiental* (pp. 94–100). m2014\_14.pdf
- Gómez Quesada, J. C., & Afanador Franco, F. (2009). Modelo geodatabase en la estructuración y almacenamiento de información espacial para la administración y control del litoral Caribe colombiano. *Boletín Científico CIOH*, 27, 135–144. <https://doi.org/10.26640/22159045.206>
- Greenpeace. (2023, octubre 12). Crisis hídrica mundial: Nuevos datos confirman que el recurso más importante está en peligro.

- <https://www.greenpeace.org/chile/blog/issues/climayenergia/crisis-hidrica-mundial-nuevos-datos-confirman-que-el-recurso-mas-importante-esta-en-peligro>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2024). *Instructivo: Procesamiento y análisis de firmas espectrales*. <https://www.igac.gov.co/sites/default/files/listadomaestro/IN-IIA-PC02-03%20Instructivo%20Procesamiento%20y%20Análisis%20de%20Firmas%20Espectrales.pdf>
- Lara, M., & Ávila, K. (2024). Análisis de firmas espectrales para la gestión del territorio y control de la expansión urbana. *Polo de Conocimiento*, 9(3), 3341–3358. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i3.6853>
- Londoño, D., Lorduy, J., Anaya, J., Payares, P., Díaz, O., & Pérez, S. (2020). Análisis integrado del territorio: Caso Ciénaga de Betancí, municipio de Montería. En *Alternativas de sostenibilidad ambiental para comunidades en el departamento de Córdoba* (1ª ed., p. 20). Universidad Pontificia Bolivariana. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/8447?show=full>
- López García, J., Prado Molina, J., Manzo Delgado, L., & Peralta Higuera, A. (2016). Monitoreo de cambios en la densidad de cobertura forestal en bosque templado usando fotografías aéreas digitales de alta resolución. *Investigaciones Geográficas, Boletín* 90, 59–74. <https://doi.org/10.14350/rig.47360>
- Mahlayeye, M. (2017). *Single and multi-temporal assessment of natural resources using remote sensing* (Tesis de maestría, University of Pretoria). Repositorio Institucional de la University of Pretoria. <https://repository.up.ac.za/handle/2263/61734>
- Mancipe Muñoz, N. A., & Sanabria Buitrago, M. (2017). *Introducción a los SIG para futuras aplicaciones ambientales*. Universidad de La Salle. <https://ciencia.lasalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/224da4af-54a5-4c51-929f-4b45e7273944/content>
- Månsson, J., Eriksson, L., Hodgson, I., Elmberg, J., Bunnefeld, N., Hessel, R., Johansson, M., Liljebäck, N., Nilsson, L., Olsson, C., Pärt, T., Sandström, C., Tombre, I., & Redpath, S. M. (2023). Understanding and overcoming obstacles in adaptive management. *Trends in Ecology & Evolution*, 38(1), 55–71. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.08.009>
- Martínez, D. (2021). *Análisis multiespectral para la estimación de sedimentos en la cuenca baja del río Dagua en los años 1986, 2019 y 2020* (Tesis de especialización, Universidad Militar Nueva Granada). Repositorio Institucional UMNG. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/ef379162-17b1-486d-ac2e-7108c3964d77/content>
- Mendoza Chichipe, M. E., Salas López, R., & Barboza Castillo, E. (2017). Análisis multitemporal de la deforestación usando la clasificación basada en objetos, distrito de Leymebamba (Perú). *INDES: Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 3(2), 67–76. <https://doi.org/10.25127/indes.20153.210>
- Muñoz Guerrero, D., Rodríguez Montenegro, M., & Romero Hernández, M. (s.f.). Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca Las Minas,

- corregimiento de La Laguna, municipio de Pasto, Departamento de Nariño. *Revista Universidad de Nariño*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104161>
- Nguyen, H. T. T., Chau, Q. T. N., Pham, A. T., Phan, H. T., Tran, P. T. X., Cao, H. T., Le, T. Q., & Nguyen, D. T. H. (2020). Land use/land cover changes using multi-temporal satellite imagery. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, VI-3(W1), 83–90. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-VI-3-W1-2020-83-2020>
- Patiño, J. E. (2016). Análisis espacial cuantitativo de la transformación de humedales continentales en Colombia. *Biota Colombiana*, 17(Suplemento 1), 85–105. <https://doi.org/10.21068/c2016s01a05>
- Puertas Orozco, O. L., Cardenas, M. P., Barría Meneses, J., Lizama Sanchez, T., & Jiménez Núñez, H. (2022). Detección de cambios a largo plazo con análisis multiespectral en la vegetación azonal hídrica altoandina: Caso de estudio salar Michincha, 1985–2019. *Revista de Geografía Norte Grande*, (84), 177–196. <https://www.scielo.cl/pdf/rgeong/n84/0718-3402-rgeong-84-177.pdf>
- Rejas, J. G., Malpica, J. A., & Martínez, R. (2015). Análisis multitemporal del uso y cobertura del suelo mediante teledetección y SIG: Caso de estudio, municipio de Danlí, El Paraíso, Honduras. *Revista Ciencias Espaciales*, 8(2), 259–271. <https://doi.org/10.5377/ce.v8i2.208>
- Reyes, N. (2023). *Análisis multitemporal del espejo de agua en la ciénaga de Zapatosa ubicada en los departamentos del Cesar y Magdalena, durante el periodo 2015–2017 y 2021* (Trabajo de especialización, Universidad Antonio Nariño). Repositorio Universidad Antonio Nariño <https://repositorio.uan.edu.co/items/a74403a4-bff3-4705-90b6-22ce5b82565a>
- Rico Traslaviña, J. (2023). *Análisis espectral y multitemporal de modificaciones en el uso del suelo y calidad del agua en el Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta* (Tesis de maestría, Universidad de los Andes). Repositorio Institucional de la Universidad de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/13126d0a-19ef-451a-a4ac-bfec600d8249/content>
- Rodríguez, J. P., Karim Senhadji-Navarro, K., & Ruiz Ochoa, M. A. (2017). Estado ecológico de algunos humedales colombianos en los últimos 15 años: Una evaluación prospectiva. *Colombia Forestal*, 20(2), 181–191. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a07>
- Saleem, A., & Mahmood, S. (2023). Spatio-temporal assessment of urban growth using multi-stage satellite imageries in Faisalabad, Pakistan. *Advanced Remote Sensing*, 3(1), 10–18.
- Salgado Rodríguez, E.F. (2023). Monitoreo multitemporal del humedal Pugllohuma, perteneciente al Área de Conservación Hídrica Antisana (ACHA), por medio de imágenes capturadas desde una aeronave no tripulada de ala fija (UAV). 140 páginas. Quito: EPN. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25735>
- Sobrino, Jose A., Raisounni, N., Kerr, Y., Oliosio, A., López -García, M. J., Belaid, A., El Kharraz, M. H., Cuenca, J., Dempere, L. (2000). Teledetección. Sobrino, J. A. (Ed), Servicio de publicaciones, Universidad de Valencia (ISBN 84-370-4220-8), Valencia (España)

<https://www.google.com.co/books/edition/Teledetecci%C3%B3n/Yb6xIldfoT0C?hl=es-419&gbpv=1&dq=teledeteccion%2Bpercepcion+remota&pg=PA19&printsec=frontcover>

Suarez, N. (2019). *Análisis espacio temporal del uso del suelo y sus efectos en el clima local y la oferta hídrica en la Cuenca del Río Canalete, Córdoba, Colombia* (Tesis de maestría, Universidad de Córdoba). Repositorio Institucional de la Universidad de Córdoba.

UNESCO. (2024). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2024: agua para la prosperidad y la paz*. <https://www.unesco.org/es/articulos/informe-mundial-de-las-naciones-unidas-sobre-el-desarrollo-de-los-recursos-hidricos-2024-agua-para>

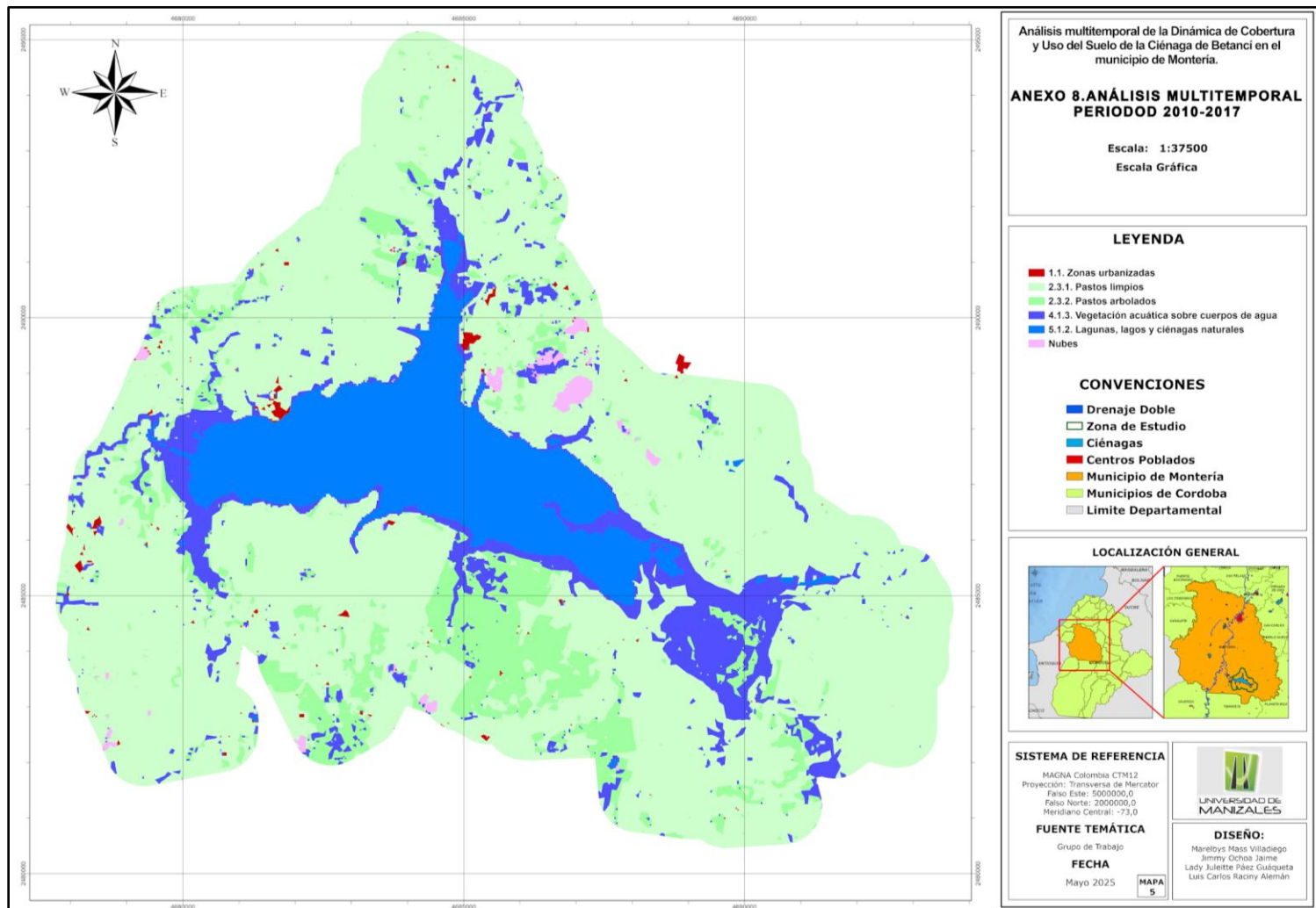
Villadiego, J., Negrete, V., & Payares, P. (2022). *Humedales mayores y menores de Córdoba: una historia de deterioro y extinción* (1st ed.). Universidad Pontificia Bolivariana.

Wang, J., Zhen, J., Hu, W., Chen, S., Lizaga, I., Zeraatpisheh, M., & Yang, X. (2023). Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective. *International Soil and Water Conservation Research*, 11(3), 429–454. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.03.002>

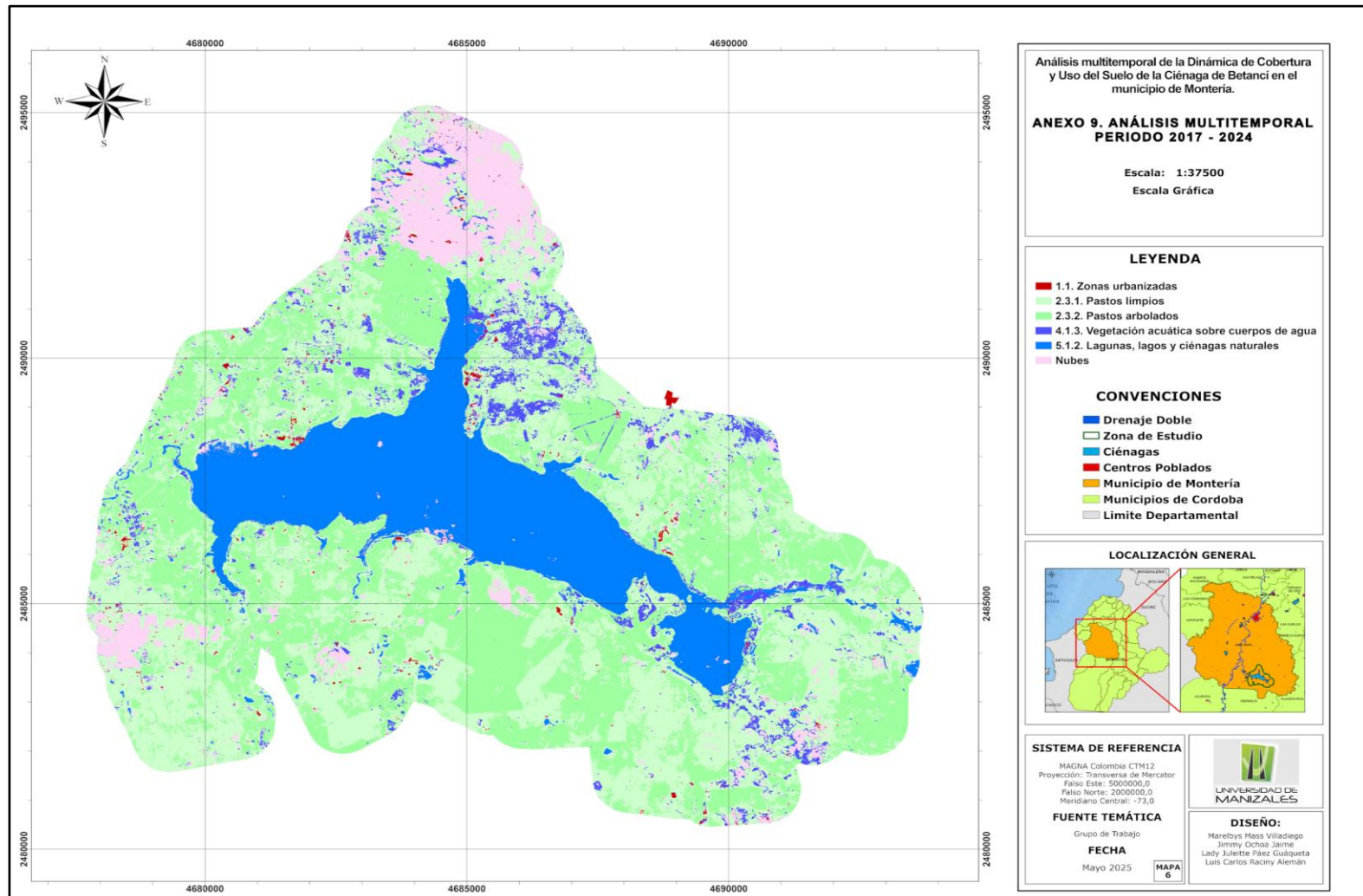
Zhu, Z., Qiu, S., & Ye, S. (2022). Remote sensing of land change: A multifaceted perspective. *Remote Sensing of Environment*, 282, 113266. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113266>

## Anexos

## Anexo 1. Análisis Multitemporal Periodo 2010 – 2017



Anexo 2. Análisis Multitemporal Periodo 2017 – 2024



## Anexo 2. Elaboración Geodatabase

