

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL HUMEDAL LAS GUACAS ENTRE LOS AÑOS
1994-2020, VEREDA LAS GUACAS, ÁREA SUBURBANA DEL MUNICIPIO DE
POPAYÁN-CAUCA

ALEXANDRA LORENA BENAVIDES ESCOBAR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA INGENIERÍA FORESTAL

POPAYÁN

2022

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL HUMEDAL LAS GUACAS ENTRE LOS AÑOS
1994-2020, VEREDA LAS GUACAS, ÁREA SUBURBANA DEL MUNICIPIO DE
POPAYÁN-CAUCA

ALEXANDRA LORENA BENAVIDES ESCOBAR

Trabajo de grado en la modalidad de investigación presentado para optar al título
de ingeniero forestal

DIRECTOR

ALEX ENRIQUE ORDOÑEZ HOYOS, Msc.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA INGENIERÍA FORESTAL

POPAYÁN

2022

Nota de aceptación

Los directores y los jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por su autor y lo encuentran satisfactorio.

MSc. Alex Enrique Ordoñez Hoyos
Ingeniero Forestal
Director

Mercy Lorena Urbano Pardo
Presidente del jurado

Juan Pablo Paz Concha
Jurado

Popayán, 29 de julio de 2022

DEDICATORIA

“A los que lo intentan, lo intentan otra vez y vuelven a intentarlo.

A los testarudos de la supervivencia.” [❤](#)

Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo incondicional de mis padres Nilba Escobar y Alberto Benavides, y todas aquellas personas que estuvieron en mi camino que han sido soporte y compañía durante todo el periodo de estudio para no desistir.

M.sc. Juan Pablo Paz, quien es un fuerte pilar de educación, virtudes y ejemplo a seguir luchando por derechos a través de la gestión. Además, gracias por permitirme llevar a buen término mi investigación.

A todos y todas: Mil gracias

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	8
2	MARCO REFERENCIAL	9
2.1	LOCALIZACIÓN	9
3	MARCO TEORICO	11
3.1	HUMEDAL	11
3.2	HUMEDAL URBANO	12
3.3	COBERTURA DEL TERRENO	12
3.4	COBERTURA VEGETAL	13
3.5	LEYENDA NACIONAL DE LA COBERTURA DE LA TIERRA	14
3.6	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	14
3.7	SENSORES REMOTOS	14
3.8	IMÁGENES SATELITALES	15
3.9	IMÁGENES LANDSAT	15
3.10	GOOGLE EARTH	16
3.11	GOOGLE ENGINE	16
3.12	S.A.S. PLANET	17
3.13	ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES SATELITALES	17
3.14	ALGEBRA DE MAPAS	18
3.15	CLASIFICACIÓN SUPERVISADA	18
3.16	CORINE LAND COVER	19
4	ESTADO DEL ARTE	20
5	METODOLOGÍA	26
5.1	FASES DE LA METODOLOGÍA	27
5.1.2	<i>Obtención de información cartográfica</i>	30
5.1.3	<i>Análisis de información</i>	30

5.1.4	<i>Fase de campo</i>	31
5.1.5	<i>Fase de laboratorio</i>	31
5.1.6	<i>Producción de cartografía</i>	35
5.1.7	<i>Fase de creación de productos vectoriales</i>	36
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
6.1	CAMBIOS EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL HUMEDAL LAS GUACAS	38
6.2	ANÁLISIS MULTITEMPORAL	39
6.3	DINÁMICA DE CAMBIOS EN UNIDADES DE COBERTURA DE ACUERDO A LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS. 40	
7	CONCLUSIÓN	89
8	RECOMENDACIONES	90
9	CITAS BIBLIOGRÁFICAS	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Unidades de coberturas de la tierra definidas en la investigación para la leyenda nacional, escala 1:100.000 de acuerdo con la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.	33
Tabla 2. Clasificaciones temáticas para las imágenes satelitales para el área de estudio.....	38
Tabla 3. Cambios en las coberturas del suelo 2000 y 2020	85

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1.Captura de la imagen correspondiente al año 2000	98
Imagen 2..Captura de la imagen correspondiente al año 2003	98
Imagen 3.Captura de la imagen correspondiente al año 2005	98
Imagen 4.Captura de la imagen correspondiente al año 2010	98
Imagen 5.Captura de la imagen correspondiente al año 2014	99
Imagen 6.Captura de la imagen correspondiente al año 2018	99
Imagen 7. Captura de la imagen correspondiente al año 2020	99

LISTA DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1. Mapa localización del área de estudio para la evaluación de cobertura vegetal (Fuente propia)	10
Ilustración 2. Esquema metodológico que se aplicó durante el proceso de investigación sobre análisis multitemporal.	26
Ilustración 3. Diagrama metodológico análisis temporal en el Humedal las Guacas	28
Ilustración 4. Metodología utilizada para la delimitación mediante un recorte del área de estudio mediante el software.....	32
Ilustración 5. Creación de nube de puntos para la clasificación de las coberturas del área de estudio para los años 1994-2020.....	34
Ilustración 6. Mapa que delimita el área del humedal Universidad del Cauca	53
Ilustración 7. Histograma de frecuencia de porcentajes de tipos de cobertura para los años 2000, 2003,2005,2010,2014,2018 y 2020 en el área	82
Ilustración 8. Área de los tipos de cobertura clasificados en el área de estudio	84

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Box Couvert para habilitar el paso por el complejo de humedales. 2004	44
Fotografía 2. Humedal 2, antes de su paso por la construcción del box couvert, 2004.....	48
Fotografía 3. Humedal 2, al fondo se ve el cabezal del box couvert, 2004.....	49
Fotografía. 4 Humedal 3, después de construido el box couvert, 2004	50
Fotografía 5. Humedal 1, sus aguas van hacia el río Cauca, 2004.	50
Fotografía. 6.Mojones para delimitación del área del humedal. 2004.....	52
Fotografía 7. Fotografía. 6.Mojones para delimitación del área del humedal. 2004	52
Fotografía. 8 Ganadería en la franja protectora del humedal las Guacas.	55
Fotografía 9. Recursos públicos en la construcción de obras de alcantarillado, 2010	60
Fotografía 10. Obras de Alcantarillado I Fase afectando el humedal 3, 2010.	61
Fotografía 11. Tubería de Alcantarillado enterrada en suelos del humedal 3. 2011.....	61
Fotografía 12. Zanjas abiertas con maquinaria afectando humedal 1 y 2. II Fase obra	62
Fotografía. 13. Recorrido con funcionarios de instituciones y comunidad observando la problemática. 2011	63
Fotografía 14. Grupo Pro humedal Universidad del Cauca. 2011.	64
Fotografía 15. Mesa de trabajo interinstitucional para analizar las responsabilidades.....	65
Fotografía 16. Visita técnica interinstitucional a las obras y los impactos al complejo de humedales	66
Fotografía 17. Ampliaciones de vivienda con generación de riesgos y vulnerabilidad a eventos..	67

Fotografía 18. Alcantarillado pluvial al que se ha conectado aguas servidas y son deyectadas al humedal.....	68
Fotografía 19. Obras generando tensores por sedimentación al humedal, sin planes de manejo establecidos.....	69
Fotografía 20. Ganado pastoreando en la zona del humedal.....	70
Fotografía 21. Aislamiento humedal 3.....	73
Fotografía 22. Aislamiento humedal 2.....	74
Fotografía 23. Sendero Ecológico de 150 metros sobre la franja del humedal 2.....	75
Fotografía 24. Especies forestales utilizadas en la reforestación.....	76
Fotografía 25. Obras en desarrollo y trinchos para detener la sedimentación obsoletos para este tensor.....	77
Fotografía 26. Obras de Alcantarillado y de vías, aun generando impactos sobre el humedal.	78
Fotografía 27. Alcantarillado pluvial, con conexiones de aguas residuales que contaminan el humedal.....	79

RESUMEN

El humedal Las Guacas se localiza en la vereda que lleva su mismo nombre en el corregimiento Las Piedras, departamento del Cauca, y es de gran importancia local por los servicios ecosistémicos que brinda: diversidad de fauna, regulación hídrica y térmica, etc. El humedal ha sufrido cambios adversos en los últimos años, lo que ha generado preocupación entre algunos pobladores que crearon el grupo pro defensa, dado los vínculos culturales e históricos que mantienen con su territorio. Es así como en el presente trabajo se presenta el análisis multitemporal de 1994 a 2020 en el que se corroboran los cambios de cobertura vegetal y la pérdida del espejo de agua, transformaciones en la fisionomía del paisaje y en la fuente hídrica. Por ello, en la actualidad, como parte de la planificación territorial, es necesario implementar nuevos métodos en el país mediante la elaboración de mapas temáticos de cobertura y uso del suelo. En este sentido, en el marco de contribuir a la sociedad, se desarrolló este proyecto de investigación para brindar a los usuarios finales una mejor comprensión del uso del suelo en los ecosistemas de humedales; el propósito de este estudio es mejorar la gestión ambiental a partir de la generación de información para apoyar las decisiones de planificación y ordenamiento territorial. El sistema de clasificación de la cobertura del suelo Corine Land Cover permitió identificar bosque fragmentado, pastos arbolados, pastos limpios, tierras desnudas y tejido urbano discontinuo. Este análisis, sumado a la interpretación de la información secundaria suministrada por trabajos de investigación de diferentes actores, permite comprender las posibles causas de la degradación de los humedales y brinda orientación para su conservación.

ABSTRACT

The Las Guacas wetland is located in the village that bears the same name in the corregimiento Las Piedras, department of Cauca, and is of great local importance for the ecosystem services it provides: diversity of fauna, water and thermal regulation, etc. The wetland has undergone adverse changes in recent years, which has generated concern among some residents who created the pro-defense group, given the cultural and historical links they maintain with their territory. This is how the present work presents the multitemporal analysis from 1994 to 2020 in which the changes in vegetation cover and the loss of the water mirror are corroborated, transformations in the physiognomy of the landscape and in the water source. Therefore, at present, as part of territorial planning, it is necessary to implement new methods in the country through the elaboration of thematic maps of land cover and use. In this sense, within the framework of contributing to society, this research project was developed to provide end users with a better understanding of land use in wetland ecosystems; the purpose of this study is to improve environmental management through the generation of information to support planning and land use planning decisions. The Corine Land Cover land cover classification system made it possible to identify fragmented forest, wooded grasses, clean grasses, bare land and discontinuous urban fabric. This analysis, together with the interpretation of the secondary information provided by research work of different actors, allows us to understand the possible causes of wetland degradation and provide guidance for their conservation.

1 INTRODUCCIÓN

Generalmente los estudios de cambio de uso del suelo evalúan los cambios de las coberturas, determinan su extensión geográfica y permiten comprender cuáles son las causas sociales y económicas de los cambios, para diferentes ecosistemas. Por esta razón, el análisis multitemporal es importante porque permite detectar cambios entre diferentes fechas de referencia que permiten realizar de manera objetiva mediciones en diferentes escalas espaciales y temporales, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio para analizar desde tendencias locales hasta evaluaciones globales.

Los análisis de cambios en la vegetación, características de los paisajes o propiedades de los hábitats por medio de información satelital son relativamente frecuentes debido a que estos estudios son importantes por que brindan la oportunidad de detectar cambios históricos sobre amplias zonas geográficas en las cuales no existen estudios detallados. Estas tendencias históricas proveen importantes bases para la predicción de cambios futuros.

Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue analizar los cambios que se presentaron con la descripción de la distribución espacial y la dinámica de variación de las coberturas sobre el humedal Las Guacas, a partir de una secuencia histórica de imágenes satelitales del área, como base para futuros análisis y como aporte a la toma de medidas para su manejo y conservación en la planificación territorial.

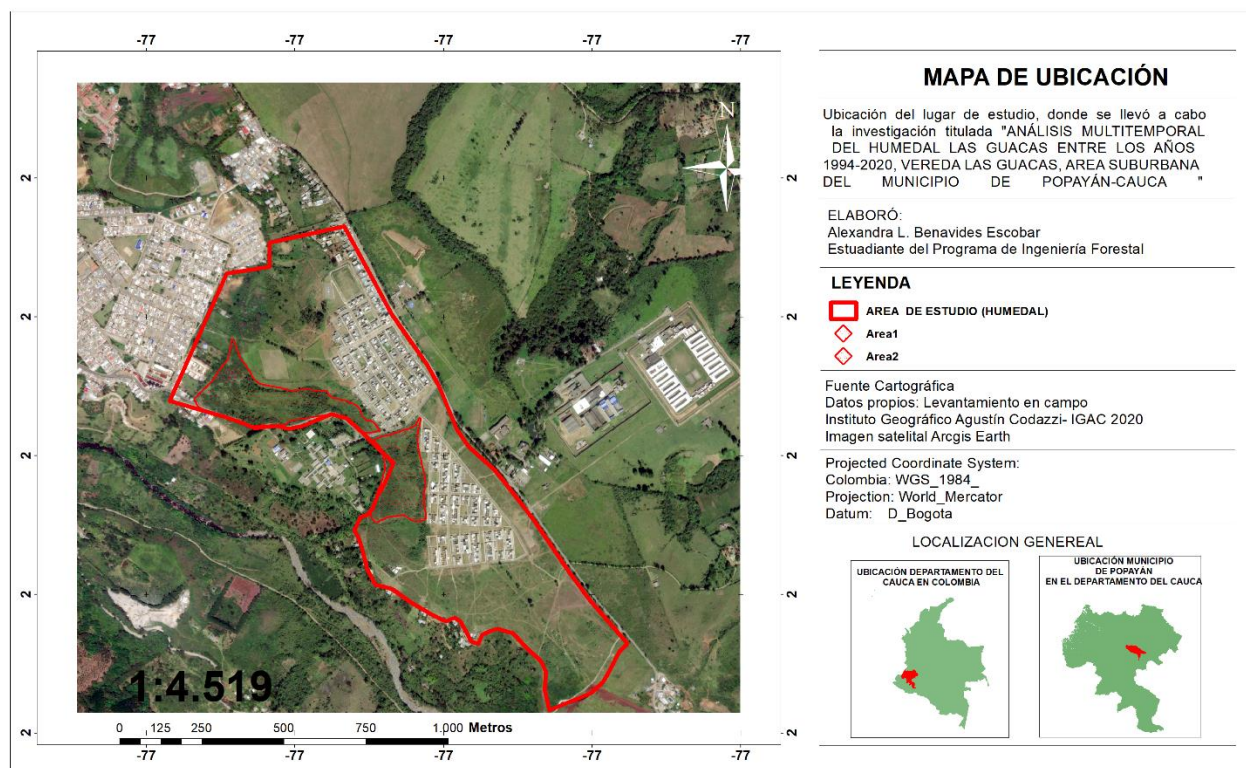
2 MARCO REFERENCIAL

2.1 LOCALIZACIÓN

El humedal Las Guacas se localiza en la vereda que lleva su mismo nombre en el corregimiento Las Piedras, hace parte de la zona suburbana al Nor-Oriente del Municipio de Popayán, entre las coordenadas: 2°28'17.3" Norte y 76°33' 00" Oeste. Este se encuentra a una altitud de 1600 y 2100 msnm, la temperatura promedio es de 20 ° C y la precipitación media anual es de 2040 mm (Castillo, Ipia, Zuñiga, Paz, & Londoño, 2013b), una humedad relativa de 79%, se encuentra ubicado según Holdridge en la zona de vida bosque húmedo pre-montano (bh-Pm) (Castillo et al., 2013).

En lo que respecta a su nombre la Corporación Autónoma Regional del Cauca se refiere al ecosistema como “humedal las Guacas”, pero se integra al nombre Universidad del Cauca, en gran parte por estar la Facultad de Ciencias Agrarias junto al mismo y la determinación de la sigla 1,2 y 3, hace referencia al hecho que este complejo espacio natural, temporalmente estuvo constituido en un solo cuerpo lagunar, que por la forma del terreno ya expresado anteriormente y por los nacimientos de agua (7 nacimientos contados en visita técnica con la CRC), conforman lo que ambientalmente se conoce como la “cuenca alta” de la microcuenca Lame, que recorre la zona de oriente a occidente atravesando los terrenos de la gobernación, los asentamientos hoy barrios subnormales, y entrega sus aguas contaminadas producto del desorden urbano a la sub cuenca de río Blanco cinco kilómetros aguas abajo de su nacimiento (Paz, 2016).

Ilustración 1. Mapa localización del área de estudio para la evaluación de cobertura vegetal (Fuente propia)



Fuente: Elaboración propia

3 MARCO TEORICO

3.1 HUMEDAL

El ecosistema de humedales es una red compleja que se caracteriza por un conjunto de estructuras ecológicas, funciones y procesos formados por la interacción entre el flujo de energía de las comunidades de humedales y su entorno circundante. Los humedales representan el 6% de la superficie terrestre del mundo y combinan propiedades de los ecosistemas terrestres y acuáticos, incluida la hidrología, la química, la ingeniería, la ecología acuática y terrestre (Mitsch & Gosselink, 2015). Además, desempeñan un papel clave en el mantenimiento del equilibrio del medio ambiente global (Chacón, 2017).

Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza - UICN (1999), “Los humedales son uno de los ecosistemas más productivos de la Tierra, contribuyendo a la mitigación de inundaciones, reteniendo sedimentos, sustancias tóxicas y nutrientes, teniendo un alto grado de biodiversidad, controlando la erosión, Almacena carbono, brinda servicios de transporte y recreación, y proporciona una fuente importante de alimentos (Chacón, 2017).

La Convención de Ramsar, suscrita por Colombia a través de la Ley No. 357 de 1997, cuyo objetivo principal es garantizar la conservación y el manejo racional de los humedales, brinda la definición más conocida de estos ecosistemas: “Pantanos, ciénagas y turberas o extensiones superficiales cubiertas por agua, sea natural o artificial, permanente o temporal, estancada o corriente, dulce, salobre o salobre, incluidas las extensiones de agua de mar que no excedan de una profundidad de seis metros en marea baja”. Coloquialmente, se hace referencia a los humedales como lagunas, pantanos o manglares ubicados en la costa. (MINAMBIENTE, 1997)

3.2 HUMEDAL URBANO

Según RAMSAR también se incluyen como objetos de conservación. Esta institución define como humedal periurbano a los humedales colindantes con una zona urbana entre los barrios periféricos y las zonas rurales; mientras que humedales urbanos son los humedales que se encuentran dentro de los límites de ciudades, poblaciones y otras conurbaciones (Finlayson et al., 2018). Además, menciona que los humedales urbanos y periurbanos juegan un papel importante en la mejora del medio ambiente de las comunidades adyacentes y, a través de su efecto amortiguador en las áreas ribereñas y costeras, y a través de su papel en la reducción de las consecuencias de la contaminación, proporcionan un mejor medio ambiente. Para aquellos que viven en estas áreas, la comunidad proporciona una red de seguridad. Cambio climático (Chacón, 2017; Paredes, 2010).

La importancia de los humedales urbanos radica en su contribución a la diversidad biológica y estética del paisaje “Los humedales ubicados dentro o cerca de las ciudades cobran mayor importancia ya que las funciones y los mecanismos naturales de estos ecosistemas deben entenderse como servicios ambientales que reportan beneficios directos e indirectos a la humanidad, que incluyen la purificación del aire, la regulación del microclima, la reducción del ruido, el drenaje de aguas pluviales, el tratamiento de aguas residuales y la provisión de espacios recreativos”, que es la base para la decisión de proteger estas áreas verdes dentro de las ciudades (De Groot et al., 2007; Kusch et al., 2008; Smith y Romero, 2009).

3.3 COBERTURA DEL TERRENO

De acuerdo con Ellis (2007), el término cobertura del terreno se refiere a la cubierta física y biológica sobre la superficie de la tierra; son las características físicas de la superficie del terreno determinadas por lo biótico y abiótico (vegetación, presencia de estructuras construidas) e incluyen agua, vegetación, suelo desnudo, y/o estructuras artificiales; mientras que los usos del suelo tienen una connotación con las actividades humanas,

describen las funciones económicas y sociales del terreno y están determinadas por los propósitos activos y pasivos del manejo y los beneficios no materiales.

El estudio de las causas, los procesos y las consecuencias del cambio del uso y la cobertura del terreno han sido abordados en diversas investigaciones para comprender problemas relacionados con el cambio ambiental global (Lambin, 1999). Así mismo, los estudios de suelo proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de degradación del suelo, deforestación, desertificación y la pérdida de la biodiversidad de una región determinada. El desbalance observado entre los hábitats humanos en su interacción con los hábitats naturales ha sido determinante para concebir esta relación como preocupante por las alteraciones en la biodiversidad y funciones ecológicas que ponen en riesgo la sustentabilidad.

3.4 COBERTURA VEGETAL

La cubierta vegetal del suelo se define como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, que incluye una amplia gama de biomasa con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales (Correa & Restrepo, 2018).

Estas coberturas brindan información importante para varios procesos nacionales, como mapas de ecosistemas, conflictos de uso de la tierra, gestión de cuencas y tierras, monitoreo de la deforestación e inventarios forestales, por nombrar algunos (IDEAM, 2010).

Por esta razón, es fundamental La Leyenda Nacional de Cobertura del Suelo a escala 1:100.000 adaptada al territorio colombiano la cual brinda las características temáticas que el país necesita para conocer sus recursos naturales, evaluar formas de ocupación y huellas geográficas, y una actualización permanente de información que ayuda al proceso de monitoreo de cambios y evaluación de la dinámica de la cubierta terrestre (IDEAM, 2010).

3.5 LEYENDA NACIONAL DE LA COBERTURA DE LA TIERRA

La metodología Corine Land Cover tiene como propósito la realización del inventario homogéneo de la cubierta biofísica (cobertura) de la superficie de la tierra a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite asistida por computador y la generación de una base de datos geográfica (IDEAM, 2010)

La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas (IDEAM, 2010)

3.6 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema para describir y clasificar la Tierra y otras geografías para la visualización y el análisis de información a la que se hace referencia espacialmente. Los SIG son una herramienta para comunicar y transferir grandes cantidades de información de manera organizada, lo que permite la gestión de datos espaciales ya que es una importante herramienta multipropósito (Arcgis, s. f.; Correa, 2018).

Un SIG es un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica (Esri, s. f.), Es decir, un SIG es una herramienta integradora y completa para el procesamiento de información georreferenciada. Por tanto, el SIG debe entenderse como un elemento complejo formado por una serie de otros elementos conectados, cada uno de los cuales realiza una función específica (Olaya, 2014, p.p. 7-10)

3.7 SENSORES REMOTOS

Los sensores remotos son usados como una herramienta para recopilar información valiosa en los sectores público y privado, a partir de investigaciones que involucran

fenómenos geofísicos y atmosféricos, por ejemplo, el clima en las predicciones meteorológicas. Estos son importantes porque permiten una vista retrospectiva de grandes regiones y proveen información geográfica y temporal de las áreas urbanas. Los sensores remotos y los SIG son técnicas empleadas en monitorear y modelar un fenómeno dinámico. La urbanización es un fenómeno dinámico y las perspectivas futuras son un gran cambio que es medible (Jiménez et al., 2011, p.p. 397-398)

Las imágenes satelitales se seleccionan en función de los objetivos de la investigación, los recursos disponibles para su procesamiento, el grado de experticia del intérprete y los costos involucrados (Correa, 2018).

3.8 IMÁGENES SATELITALES

Las imágenes satelitales por sí solas no pueden proveer la información que sea requerida porque proporcionan información georreferenciada; cada pixel está en un sistema de coordenadas. Esta información debe extraerse, organizarse, procesarse, interpretarse en un mapa digital o analógico (Correa, 2018).

Las imágenes satelitales están sujetas a una serie de interferencias que son perturbadas por errores y, además deben ser geoespaciales para poder integrarse con otras capas de información o con otras imágenes en un entorno SIG y, en última instancia, lograr el resultado final. Es un mapa de cobertura en el que se categorizan los diferentes promedios del área de estudio (Correa, 2018).

3.9 IMÁGENES LANDSAT

Las imágenes landsat han sido proporcionadas por imágenes satelitales desde la década de 1970 y tienen un registro histórico muy diverso. Muchos de ellas se pueden descargar de forma gratuita para hacer diferentes análisis y se pueden encontrar en diferentes resoluciones espaciales y se dividen en 2 categorías: Landsat 7 (sensor ETM+) y Landsat

5 (sensor TM); ambos poseen 7 bandas multiespectrales que van desde el visible hasta el infrarrojo medio, con una resolución de 30 metros, en la mayoría de ellas (NASA s.f).

Al estudiar las imágenes de Landsat a lo largo del tiempo, los investigadores pueden determinar el impacto de los esfuerzos humanos en el paisaje de la Tierra. la comparación de mapas históricos con imágenes satelitales nos permite explorar nuestra visión cambiante del mundo y los avances tecnológicos que ayudan a mapear el mundo. usando datos e imágenes de Landsat como base, el ser humano puede explorar el ciclo del agua, el ciclo del carbono, la urbanización, la deforestación, la diversidad biológica, las especies invasoras, el fuego y más. Porqué las imágenes y recursos de Landsat pueden ayudarnos a enseñar y aprender sobre los cambios de la tierra, el espectro electromagnético, la ciencia y la tecnología detrás de los datos satelitales y mucho más (NASA s.f).

3.10 GOOGLE EARTH

El Google Earth es un programa informático que le permite visualizar múltiple cartografía en un globo virtual, lo antes mencionado se encuentra compuesto por la superposición obtenido de las imágenes satelitales, fotografías aéreas, información geográfica proveniente de modelos de datos SIG de todo el mundo y modelos creados por computadora. Además, Google Earth es una aplicación popular que hace parte de los SIG y hoyes un objeto consumible que está presente en la vida diaria. No está pensada para un uso profesional ya que permite a cada usuario combinar su propia información para visualizarla, pero el principal beneficio es el acceso a la enorme base de datos de imágenes satelitales con cobertura global.(Olaya, 2014, p. 594).

3.11 GOOGLE ENGINE

Google Earth Engine es una plataforma a escala planetaria para datos y análisis de ciencias de la tierra. Aquí combina un catálogo de múltiples petabytes de imágenes satelitales y conjuntos de datos geoespaciales con capacidades de análisis a escala planetaria. El repositorio de datos públicos incluye más de treinta años de imágenes

históricas y conjuntos de datos científicos, actualizados y reabastecidos diariamente (Google Earth Engine s.f).

Google Earth Engine es un servicio de procesamiento geoespacial. En él se puede realizar tratamiento geoespacial a gran escala, utilizando la tecnología de Google Cloud Platform, en los que se consiguen diferentes propósitos como:

- Proporcionar una plataforma interactiva para el desarrollo de algoritmos geoespaciales a gran escala.
- Permitir la ciencia de alto impacto basada en datos
- Hacer un progreso sustancial en los desafíos globales que involucran grandes conjuntos de datos geoespaciales (Google Earth Engine s. f.).

3.12 S.A.S. PLANET

SAS Planet es un programa diseñado para ver y descargar imágenes satelitales de alta resolución y mapas convencionales enviados por servicios como Google Maps, DigitalGlobe, Kosmosnimki, Yandex.Maps, Yahoo! Maps, VirtualEarth, Gurtam, OpenStreetMap, eAtlas, Genshtab maps, iPhone maps, Navitel maps, Bings Maps (Bird's Eye), etc., pero a diferencia de todos estos servicios, todas las imágenes descargadas permanecerán en la computadora y podrá verlas aun estando desconectado de internet. SAS Planet no necesita instalación, se debe descargar la versión deseada de la aplicación y ejecutar el archivo SASPlanet.exe (MappingGIS s.f; GIS English s.f)

3.13 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES SATELITALES

Un análisis multitemporal de imágenes satelitales involucra la evaluación o análisis comparativo de dos o más imágenes de la misma área bajo diferentes condiciones. Por lo tanto, el análisis multitemporal permite así un monitoreo continuo de las áreas de interés y la interpretación de los posibles conflictos en el uso del suelo (Correa, 2018).

3.14 ALGEBRA DE MAPAS

El álgebra de mapas consiste en un conjunto de variables (los mapas), expresiones y funciones que, gracias a una adecuada síntesis, pueden obtener nuevos resultados geográficos. (Olaya, 2014).

El álgebra de mapas es el uso de operaciones aritméticas básicas (suma, resta, multiplicación y división) para procesar y analizar datos espaciales. El álgebra de mapas crea nuevas funciones y relaciones tabulares al superponer características de dos capas de entrada. Las características de cada capa de entrada se combinan para crear nuevas funciones de salida. Estos algoritmos detectan cambios por encima de ciertos umbrales específicos y brindan información reflexiva sobre el cambio cuantitativo. (Moreno et al., 2011).

3.15 CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

La clasificación supervisada es un tipo de clasificación que requiere que el operador especifique explícitamente las clases a definir. En la terminología empleada para las imágenes, se puede decir que el operador debe ingresar la firma espectral característica de las clases, representada por los valores más comunes que aparecen para esa clase. Además de usar capas de entrada, se debe agregar información adicional para ayudar a identificar las diferentes clases y determinar su número y propiedades. (Olaya, 2014, p.p. 537-539).

La clasificación supervisada ayuda a identificar y monitorear grandes diferencias en la cobertura y el uso de la tierra, especialmente en áreas industriales, residenciales y comerciales (Liu et al., 2007). Existen diferentes sistemas de clasificación para diferentes tipos de usos de la tierra. Este trabajo se basa en información recopilada de imágenes satelitales para crear un esquema de clasificación de la vegetación, con el fin de analizar su evolución y distribución (Gillen et al., 2015)

3.16 CORINE LAND COVER

La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de uso del suelo, las cuales son interpretadas utilizando resolución promedio de imágenes satelitales de alta resolución (Landsat), para mapas de rango construidos a diferentes escalas.

La leyenda nacional para la zonificación de las coberturas de la tierra a escala 1:100.000 adaptada al territorio colombiano proporciona las características temáticas que el país requiere para el conocimiento de sus recursos naturales, para la evaluación de las formas de ocupación y apropiación del espacio geográfico, así como actualizar la información periódicamente, para facilitar el seguimiento de los cambios y la evaluación de la dinámica de la cobertura del suelo. Con esta propuesta se espera contribuir a la producción ordenada, estandarizada, sistemática e interinstitucional de la cartografía de coberturas de la tierra del país, como herramienta de apoyo para la gestión sostenible de los recursos naturales del país.

Por esta razón, la presente investigación implementa la leyenda nacional de coberturas de la tierra adaptada de la metodología europea Corine Land Cover para Colombia, documento surgido de un convenio interinstitucional entre el IDEAM, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI, la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), en el año 2009 (IDEAM, 2010).

CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover es un inventario homogéneo de la ocupación (cobertura) del suelo con características técnicas específicas. Tiene como objetivo fundamental la captura de datos de tipo numérico y geográfico para la creación de una base de datos a escala 1:100.000 sobre la cobertura y uso del territorio mediante la interpretación a través de imágenes recogidas por la serie

de satélites LandSat y SPOT. Es utilizada por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Parque Nacionales Naturales de Colombia, 2010).

4 ESTADO DEL ARTE

Desde hace varios años se sabe que el análisis multitemporal es una fuente importante de información y actualmente se realizan más estudios para comprender la dinámica de los paisajes mediante la interpretación visual de imágenes satelitales y de fotografías aéreas para identificar modelos que describen procesos complejos de uso y de cambio de uso. A continuación, Se mencionan cronológicamente los documentos y estudios nacionales sobre análisis multitemporal, teniendo en cuenta la realización de este estudio.

- Atencia et al., (2008), en su artículo “Estudio multitemporal de imágenes satelitales con fines de delimitación del complejo bajo san Jorge margen izquierdo (b13) y diagnóstico de zonas intervenidas antrópicamente (agricultura y ganadería)”, Identifican los principales componentes involucrados en la alteración del sistema natural de los cuerpos de agua. Además, los resultados de la investigación identificaron indicadores hidrológicos en pantanos y ríos; Sirve como una utilidad de mapeo para calcular y definir áreas
- Muñoz & Romero, (2009), investigación titulada “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”. Los últimos 19 años (1989 a 2008) fueron analizados por diversas herramientas cartográficas como la interpretación de mapas y el uso de Arcview 3.2. Para analizar las ganancias y pérdidas de coberturas específicas.
- Acuña, (2010), tesis titulada “identificación de áreas prioritarias de conservación enfocadas hacia la conectividad estructural del corredor encenillo (municipios de la Calera, Guasca, Sopo, Sesquilé, Guatavita), Cundinamarca”. En el que, a través de la configuración espacial de elementos del paisaje, mediante la ubicación de

las principales coberturas de la zona de estudio que abarca cinco municipios realizó una evaluación del uso actual y potencial del paisaje, del grado de fragmentación de la zona generada por actividades antrópicas y de la importancia de la conservación. Finalmente, gracias a los mapas de criterio que utilizan el lugar de ocurrencia del naufragio según la prioridad de su manejo, se está discutiendo sobre el potencial de conservación de ciertas áreas de la región.

- Hernández, (2012), tesis titulada “Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del municipio del Distrito Central años 1987 y 2006”, analiza los cambios ocurridos en la cobertura vegetal del Municipio del Distrito Central mediante análisis multitemporal de las dinámicas de cambio sobre la cobertura de la tierra durante un intervalo de tiempo de 18.22 años. Los resultados muestran que desde el año 1987 al 2006, más del 50% de las clases establecidas en la clasificación no supervisada sufrieron pérdidas en su área, estas son: Bosque Latifoliado 1,443.93 ha, Bosque Mixto 3,043.20 ha, Bosque de Coníferas 38,383.16 ha, Suelo Desnudo 4,702.16 ha; en las clases restantes Matorral, Cuerpos de Agua y Urbanos ocurrió incrementó en sus áreas respecto al valor que poseían en el año 1987 con: Matorral 35,788.50 ha, Cuerpos de Agua (embalses Los Laureles y La Concepción) 2,495.70 ha y Urbano 9,288.27 ha.
- Rebollo, (2012), artículo titulado “Estudio multitemporal para la determinación de cambios en el uso del suelo en el complejo de páramos Tota - Bijagual - Mamapacha para el periodo 1992 – 2012” El estudio utilizó técnicas de Teledetección, con el objetivo de determinar las tendencias de cambio en el uso del suelo en dicha región a través de imágenes que fueron interpretadas siguiendo la metodología de clasificación de coberturas CORINE LAND COVER adaptada para Colombia y finalmente, determinar el área y porcentaje de tendencias evolutivas. Usos del suelo en la zona.

- Fonseca & Gómez, (2013), proyecto titulado “Análisis multitemporal mediante imágenes landsat caso de estudio: cambio de área laderas de la ciénaga de tumaradó parque natural los Katíos”, orientado a analizar, el cambio de área, con dos imágenes satelitales Landsat de los años 1991 y 2001. Es así como, al realizar las dos clasificaciones (con diferentes softwares), observaron pocos cambios con respecto al área, esto se puede atribuir a que las imágenes fueron capturadas en diferentes fechas, y esta zona presenta lluvias entre mayo y noviembre y la imagen de 2001 fue tomada en octubre de ese año. Con base en los hallazgos, el proyecto presentado servirá como base para futuras investigaciones específicas para ayudar a identificar las posibles causas de la diferencia presentada.
- Gonzáles & Romero, (2013), “Análisis multitemporal de los cambios de la cobertura de la tierra e incidencia del cultivo de palma en el territorio del municipio de Villanueva Casanare”, investigación que se enfocó en el análisis de dos imágenes LANDSAT ETM+7 de los años 2002 y 2012, con el objeto de analizar los cambios de la cobertura de la tierra y las implicaciones de la expansión del cultivo de palma de aceite. Con estas coberturas se realizó el análisis de fragmentación con el fin de observar el estado de los ecosistemas naturales en términos de conectividad y funcionalidad ecosistémica, mediante un análisis fractal, estructural y funcional, con las herramientas FRAGSTATS, SAGA y Conefor.
- Peña, (2015), titulado como “Análisis multitemporal del retroceso glaciar de la Sierra Nevada del Cocuy ubicada en los departamentos de Boyacá y Arauca entre los años 1992, 2003 y 2014”, Con el fin de determinar una estimación de la perdida glaciar a partir de imágenes satelitales Landsat, lo cual permite analizar el comportamiento de la regresión glaciar en un periodo total de 22 años y parcial en un intervalo de cada 11 años. En base a estos estudios se quiere determinar el comportamiento glaciar del nevado del Cocuy utilizando herramientas de software

como PCI Geomatics y ArcGis, con el objetivo de establecer y clasificar firmas espectrales aplicando conocimientos de interpretación de imágenes, teledetección, Geomática y demás a través de metodologías de corrección atmosférica, clasificación supervisada, filtros y diferentes algoritmos, obteniendo así la clasificación espectral convirtiéndola en datos vectoriales para calcular el área glaciario y por último realizar estadísticas de su comportamiento y dar el resultado del porcentaje de área de pérdida glaciario del nevado del cocuy en los últimos años.

- Bernal & Giraldo, (2016), tesis titulada “Análisis multitemporal de la dinámica en el cambio de uso de la tierra en Manizales durante el período 1969 – 2015”, Investigación realizada con el propósito de hacer una descripción de los cambios ocurridos en el uso y cobertura del suelo de la comuna ciudadela del Norte del municipio de Manizales. Además de efectuar un análisis a la forma en que se han venido desarrollando los POT en Colombia y como se regula el factor ambiental en ellos. Para el desarrollo de esta se utilizaron aerotransportados de los periodos ya mencionados probando diferentes formatos de datos para llegar a un resultado cuantificable y medible que permitió la escogencia de 6 coberturas las cuales fueron analizadas bajo la metodología propuesta por Pontius. Al finalizar se concluye que la comuna sufrió un cambio total en sus cubiertas, lo que provocó la mutación del paisaje original a uno distinto.
- Paéz et al., (2016), Artículo titulado “Análisis multitemporal del retroceso glaciario en la sierra Nevada de Santa Marta Colombia para los periodos de 1986, 1996, 2007 y 2014”, Se determinó la pérdida en área y porcentaje del glaciario de la sierra Nevada de Santa Marta. Así mismo, con los métodos de procesamiento digital de imágenes fueron comparados y validados con el coeficiente Kappa, con el fin de identificar y mostrar la mejor metodología. Con este resultado se relaciona un modelo matemático mediante, series de tiempo y regresiones lineales que permitió evaluar el comportamiento futuro del glaciario.

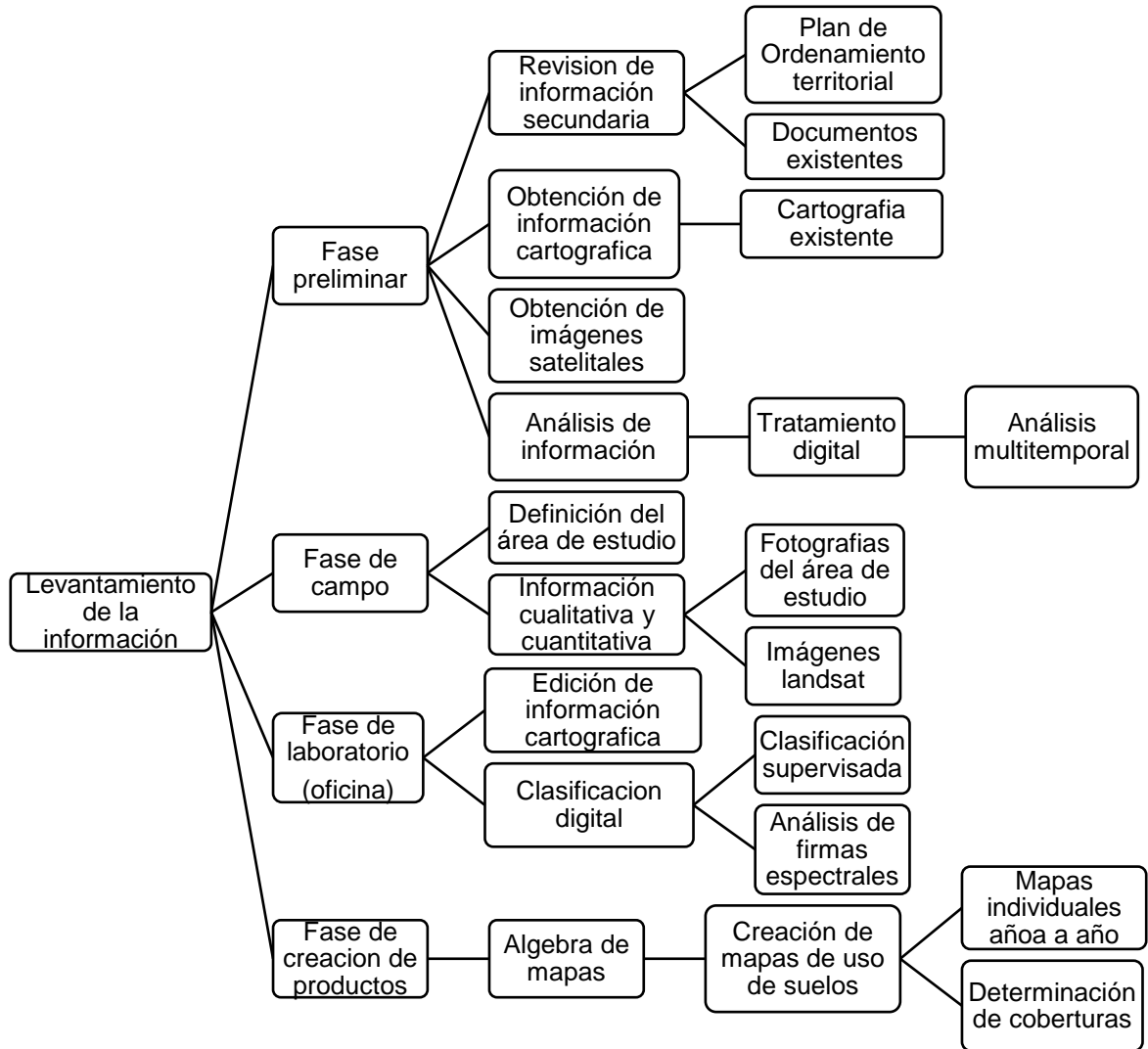
- Arango et al., (2016). Trabajo de grado titulado “Análisis multitemporal de la expansión urbana de la ciudad de Popayán, Cauca entre los años 1989, 2002 y 2014”, El objetivo principal del proyecto consistió en el análisis de la expansión urbana de la ciudad de Popayán usando imágenes satelitales Landsat codificando cuatro aspectos primordiales en el comportamiento expansivo como son: cobertura vegetal, construcciones o edificaciones, red hídrica e infraestructura vial y evaluando la expansión urbana con el fin de realizar estrategias y recomendaciones que contribuyan al desarrollo regional optimizando los recursos y desarrollo sostenible de la ciudad.
- Capote, (2016), artículo titulado “Análisis multitemporal por medio de clasificación supervisada de imágenes Landsat del parque entre nubes de la ciudad de Bogotá para identificar corredores ecológicos”, En esta investigación se realizó un análisis multitemporal teniendo como insumo dos imágenes del satélite Landsat 7 y 8 de los años 1999 y 2015 respectivamente, a las cuales se les realizó una corrección atmosférica seguida de la clasificación de sus coberturas por medio del programa PCI Geomática. Lo anterior, con el fin de determinar las coberturas de importancia ecológica y ambiental de conectores ecológicos debido a los procesos de renaturalización.
- Correa et al., (2018), tesis titulada “Análisis multitemporal de coberturas y usos del suelo: transformaciones ambientales a través del tiempo en armenia, Quindío”, El estudio se realizó a través análisis multitemporal mediante el uso de imágenes satelitales y fotografías aéreas, teniendo en cuenta en uso de herramientas de edición y sistemas de información geográfica en la clasificación y generación de estadísticas, que permitió establecer una serie de atributos para analizar las tendencias frente al cambio en las coberturas y usos del terreno.
- Achicanoy et al., (2018), artículo titulado “Análisis y proyección de las coberturas vegetales mediante el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica en la localidad de Suba, Bogotá-Colombia” En este trabajo se

desarrollaron pautas metodológicas mediante el uso de herramientas geográficas y teledetección para detectar cambios, modelar y predecir cambios de la expansión urbana y coberturas del suelo. A partir de imágenes satelitales y fotografías aéreas se realizó una clasificación orientada a objetos de coberturas en cuatro períodos de tiempo. Se analizó la dinámica urbana utilizando métricas de paisaje y el índice de entropía de Shannon. En él, es posible observar los cambios esperados que muestran una clara tendencia de disminución continua en la cobertura vegetal, junto con el aumento y densidad de las áreas urbanas.

- Rojas et al., (2019), artículo titulado “Dinámica espaciotemporal de los procesos de desertificación y re-vegetalización natural en el enclave seco de La Tatacoa, Colombia”, Aquí se evalúa la dinámica espaciotemporal de coberturas en un periodo no continuo de 23 años (1987-2001-2010), identificando áreas de pérdida y de recuperación de vegetación. Se aplicaron correcciones geométricas y radiométricas, además, se realizó un análisis cuantitativo aplicando clasificación supervisada a las imágenes Landsat. Las dinámicas espaciotemporales se identificaron a través de matrices de cambio y el índice Kappa. Una investigación importante porque los resultados son la base para nuevas investigaciones sobre los factores bióticos, abióticos y socioeconómicos que han generado la recuperación de áreas de vegetación natural en algunos sectores y la desertificación en otros, y se encaminan a plantear medidas sectorizadas como la restauración ecológica, los sistemas silvopastoriles y agroforestales acordes con la problemática social y ambiental en un contexto de cambio climático.

5 METODOLOGÍA

Ilustración 2. Esquema metodológico que se aplicó durante el proceso de investigación sobre análisis multitemporal.



Fuente: Elaboración propia

5.1 FASES DE LA METODOLOGÍA

5.1.1.1 Fase preliminar

5.1.1.2 Obtención de información secundaria

Para la elaboración del estudio del análisis espacio temporal del humedal las Guacas, se realizó una recopilación preliminar de información bibliográfica y cartográfica como soporte teórico relacionado con el enfoque de la ecología del paisaje, así como, los antecedentes de las aplicaciones de técnicas multitemporales (ver ilustración 2). Además, se realizó una búsqueda en fotografías aéreas del área de estudio identificada. Posterior a ello, se seleccionaron las imágenes satélites a utilizar desde distintos programas satelitales y en el centro de información del Instituto Agustín Codazzi-IGAC. Para ello se hizo uso de los siguientes criterios de selección para obtener una mejor información de las imágenes:

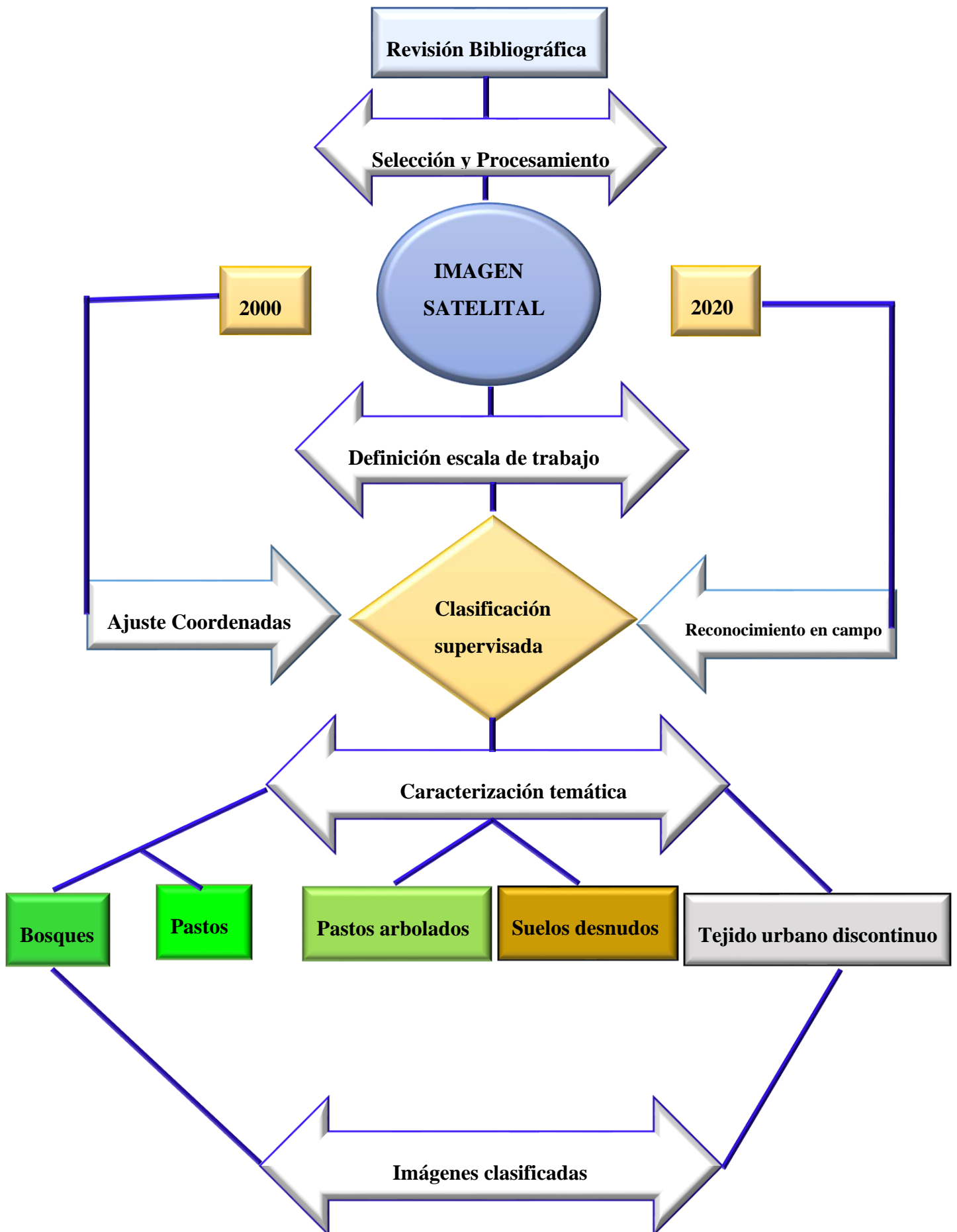
- Cubrimiento total o parcial (>50%) del área de estudio.
- Inexistencia o el menor porcentaje de cobertura de nubosidad en la zona de estudio (< 20%)
- Contar con una resolución espacial óptima (fotografías a color con tamaño de pixel menor o igual a 1m y una escala menor a 1:25.000), esto con el fin de poder generar un producto digitalizado a una escala 1:50.
- Considerar imágenes de por los menos períodos de cada tres años en el periodo correspondiente de los últimos 20 años.

Según estos parámetros se obtuvieron siete imágenes correspondientes a los años 1994 (baja resolución, bajo nivel digital), 2000, 2003, 2005, 2010, 2014, 2018 y 2020 (Anexos 1, 2, 3, 4, 5, 6, y 7). Estas imágenes se utilizaron posteriormente en el análisis multitemporal del humedal las Guacas.

Adicional a ello, se consultó la bibliografía sobre la ecología del paisaje, la definición, caracterización e importancia de los humedales y la inclusión de los determinantes

ambientales en el ordenamiento territorial, específicamente los usos del suelo establecidos por dichas figuras de protección ambiental. Además, se hizo una revisión bibliográfica de acuerdo con las posibles coberturas vegetales y usos de suelo del área de estudio de acuerdo a la leyenda nacional de coberturas de la tierra, metodología Corine Land Cover a escala 1:100.000 (IDEAN,2010).

Ilustración 3.Diagrama metodológico análisis temporal en el Humedal las Guacas



Fuente: (Chuvieco ,1996)

5.1.2 Obtención de información cartográfica

La información de base cartográfica se recopila de las entidades territoriales responsables de esta información, tales como El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Corporación Autónoma del Cauca (CRC). Permitted establecer objetivos teniendo en cuenta la información existente con mapas previos del área delimitada como humedal las Guacas.

También se sabe que está muy relacionado con los sistemas de información, se contempla la utilidad del SIG como sistema de apoyo a la decisión, donde el propio sistema se estructura como componente de apoyo a la toma de decisiones a través de distintas hipótesis de simulación que desembocan en diferentes resultados en función de los datos y procedimientos elegidos. La tecnología aplicada en los SIG multiplica el valor añadido del sistema de apoyo a la decisión al poder manejar un gran número de datos interrelacionados, con un elevado, y cada día más complejo, nivel de análisis territorial.

5.1.2.1 Obtención de imágenes satelitales

La recopilación de imágenes satelitales de información ráster se realizó desde dos plataformas gratuitas tales como: Google Earth y S.A.S. Planet, debido a la gran cantidad de información disponible su uso es relativamente sencillo. Se lograron descargar las siete imágenes para el periodo 2000-2020 cada tres años. Las imágenes del área de interés fueron provenientes de los servidores como: Google maps, Bings maps y Yandex maps.

5.1.3 Análisis de información

Se realizó un análisis multitemporal de las ocho imágenes correspondientes al periodo 1994-2020 del Humedal Las Guacas. Esto permite detectar cambios en la cobertura de uso del suelo y vegetal, basado en la temporalidad de la información que mediante superposición de las imágenes a partir del uso de una herramienta SIG. Se identificaron

procesos antrópicos y naturales generadores de dichos cambios en el ecosistema. (Acuña & Baptiste, 2010; Correa, 2018; Martínez & Ruiz, 2016; Olaya, 2014).

5.1.4 Fase de campo

El área de estudio “Humedal Las Guacas” se definió a partir de dos segmentos: El área de entorno inmediato a las obras del estudio y área definida como humedal por un polígono entregado por la entidad pública CRC; el humedal las Guacas forma parte del complejo de la meseta de Popayán, tiene un área aproximada de 63,77 Hectáreas, este humedal tiene una gran importancia debido a que brinda servicios ambientales a la comunidad que lo circunda como por ejemplo: regulación hídrica, conservación de la biodiversidad, captura de carbono, entre otros; además de ser el nacimiento de la quebrada Lame que recorre la zona.

Esto permitió clasificar las diferentes coberturas presentes, obteniendo una información supervisada de cada una de ellas. De esa forma, el trabajo de campo consistió en coleccionar la información del humedal las Guacas para ajustar la previa interpretación del área y el entorno inmediato, así como identificar la cobertura vegetal y usos de la tierra presentes en cada una de las imágenes del periodo 1994-2020.

5.1.5 Fase de laboratorio

El procesamiento digital de imágenes (PDI) consiste en una serie de métodos y procesos para manipular e interpretar las imágenes digitales con la ayuda de equipos computacionales (Lillesand et al., 2007). Una imagen digital está conformada por números digitales llamados píxeles, que representan la cantidad física de la radiación almacenada en una memoria digital, y procesada por la computadora. El procesamiento o inicial de los datos crudos se empleó para corregir las distorsiones radiométricas y geométricas de la imagen y eliminar el ruido. Las distorsiones radiométricas obedecen a mecanismos que alteran los valores de brillo de los píxeles y se deben fundamentalmente

a interferencias atmosféricas y a efectos asociados a la instrumentación (Lillesand et al., 2007; Gillen et al., 2015).

Inicialmente, para las ocho imágenes fueron delimitados el área de estudio una a una utilizando un software especializado del paquete ARCGIS; Por medio de un polígono que incluyó toda el área donde se encuentra localizada el humedal las Guacas y su entorno inmediato, se realizó un recorte a las imágenes año por año.

Ilustración 4. Metodología utilizada para la delimitación mediante un recorte del área de estudio mediante el software



Fuente: Elaboración propia

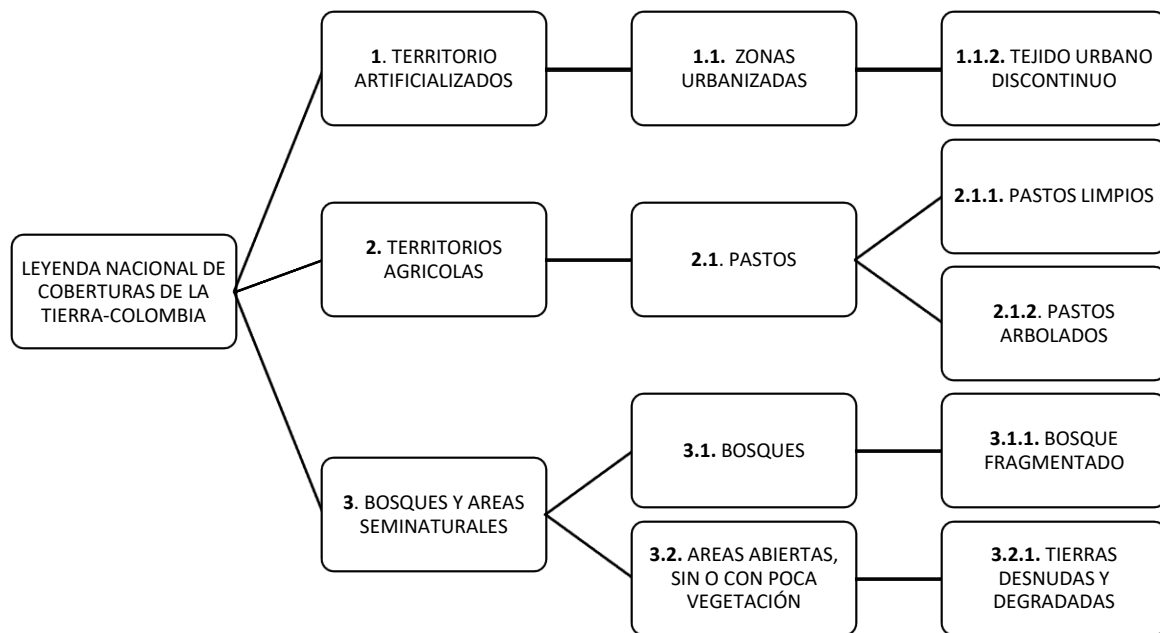
Luego, las imágenes son procesadas y analizadas, sometidas a transformaciones que, en base a sus propiedades radiométricas, buscando que la información de la imagen resultante sea más legible, relevante y oportuna que la imagen original.

Los procesos de transformación se describen a continuación:

Clasificación supervisada

Se determinó visualmente cada una de las coberturas existentes en el área de estudio, tomando como apoyo la información de la metodología de clasificación de coberturas Corine Land Cover ajustada para Colombia en la cual se trabajó con nivel tres como se observa en la tabla 1. (IDEAM, 2010). Mediante la utilización de herramientas de análisis ráster tales como: Álgebra de mapas, clasificación supervisada y análisis de firmas espectrales. Se elaboró los mapas de uso de suelo y coberturas presentes en la zona de estudio a lo largo del tiempo. Esta información se utilizó para el posterior análisis del cambio en las coberturas y las dinámicas del humedal las Guacas.

Tabla 1. Unidades de coberturas de la tierra definidas en la investigación para la leyenda nacional, escala 1:100.000 de acuerdo con la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.



Fuente: Elaboración propia

En ese sentido, se seleccionaron diferentes clases de uso del suelo más representativas para obtener su valor espectral, clasificando píxeles representativos de los patrones de cada una de las clases definidas. Para ello, se estableció una nube de puntos distribuida

sobre toda la extensión de la zona de estudio (ver ilustración 5). Lo anterior permitió muestrear los valores espectrales (firma espectral) y el comportamiento de dichas clases, y así, crear una base con la que se pudiera identificar con mayor facilidad otras áreas con el mismo uso de suelo de acuerdo a la similitud de píxeles.

Ilustración 5. Creación de nube de puntos para la clasificación de las coberturas del área de estudio para los años 1994-2020



Fuente: Elaboración propia

La clasificación supervisada indica a priori cuáles serán las clases temáticas (ERDAS, inc. 1997). En ese orden, los pasos que se siguieron fueron (1). Selección y edición: identificación de píxeles similares y representativos de las áreas de entrenamiento asignándoles a una firma espectral determinada. (2). Evaluación de las categorías o firmas espectrales; una vez definidas las firmas espectrales y antes de abordar el proceso de clasificación, se evaluó la viabilidad de las categorías para su clasificación teniendo en cuenta la metodología Corine Land Cover. (3). Clasificación de la imagen satelital: el algoritmo de la clasificación supervisada empleado es del tipo paramétrico. Se trabajó con un 95% de confiabilidad de la clasificación de las siete imágenes, con un error de $\pm 5\%$.

Luego, se utilizó un shapafile de puntos, que permitió clasificar el ráster por medio de cada píxel de una celda, lo que requirió un conocimiento previo de las clases del área de estudio (uso del suelo). Se marcaron puntos y se asignó un valor numérico para cada clase en cada una de las siete imágenes correspondientes a la investigación (ilustración 2). Además, de calcular la métrica del área, que son la suma total de todas las áreas (m²) para una clase de cobertura, expresado en hectáreas (McGarigal et al 2002). Posterior a ello, se generó y guardó una firma espectral.

Finalmente, se creó y evaluó las clases o firmas con lo que finalmente se reclasificó de acuerdo a las probabilidades de cada clase. Este proceso es muy práctico para crear de forma automática un mapa de uso de suelo o cobertura vegetal.

5.1.6 Producción de cartografía

El resultado *raster* producto final del anterior proceso se transformó a shapafile, con el fin de identificar las nuevas características físicas de las áreas de interés en donde ha habido cambio de uso de suelo, se transformó toda la información de archivos ráster a vectoriales, para generar finalmente mapas temáticos y así, mejorar su interpretación. Usando las diferentes herramientas de un software especializado SIG, se diseñó una cartografía que representara la información obtenida.

5.1.7 Fase de creación de productos vectoriales

Teniendo en cuenta la información capturada en campo y el análisis de las imágenes satelitales que comprende el periodo de 1994-2020, se crearon mapas individuales año a año determinando las coberturas presentes en el área de estudio y siguiendo cada uno de los pasos antes mencionados, de esta manera se obtuvo una base cartográfica vectorial que permitió realizar la cuantificación en hectáreas de las diferentes coberturas vegetales identificadas.

Finalmente, para la base cartográfica la información de referencia adoptada para la presente investigación fue: proyección universal transversa de Mercator (WGS_1984_World_Mercator), Datum: D_WGS_1984.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área de estudio tiene una extensión de 63,77 has en este estudio, incluyendo la zona del espejo del agua y las áreas circundantes del Humedal Las Guacas, en el municipio de Popayán, departamento del Cauca. En la Tabla 1 se muestran las clasificaciones temáticas utilizadas para la clasificación de coberturas. Sin embargo, la Corporación Autónoma Regional del Cauca realizó un levantamiento topográfico y delimitación del área de humedal correspondiente para el periodo del comodato en el año 2005 y por un término de cuatro años (2009), que resultó tener un área total de 81.935m² (8.1 Ha.) y las otras 55.67 ha, de la matriz del área circundante.

Los resultados obtenidos del análisis multitemporal de imágenes del área de estudio a partir de sensores remotos, a través de tomas hechas en tiempos diferentes, variando el periodo entre una toma y otra, en años, correspondientes al año 2000 (Ilustración 11), 2003 (Ilustración 3), 2005 (Ilustración 4), 2010 (Ilustración 5), 2014 (Ilustración 6), 2018 (Ilustración 7) y 2020 (Ilustración 8), permitieron inferir las variaciones en el tiempo de las coberturas o clases definidas, evaluando los cambios significativos identificables en los píxeles de estas imágenes una a una con base en las cinco temáticas: bosque fragmentado, pastos limpios, pastos arbolados, tierras desnudas y tejido urbano discontinuo (ver tabla 2) las cuales fueron seleccionadas a partir de Corine Land Cover y de esa forma porque en las imágenes descargadas solo se podía detallar hasta ese número de clasificación por sus píxeles. Además, para el año 1994 la densidad de los píxeles y el número de bandas que tenía la imagen no permitió realizar los análisis de una clasificación supervisada adecuada. Por lo tanto, daría un mal registro de resultados del área de estudio para los respectivos análisis. Lo que significa que, la imagen tendría que ser desestimada y por esta razón, a partir de información secundaria se hizo un análisis de cómo estaba en esa época el humedal.

Tabla 2. Clasificaciones temáticas para las imágenes satelitales para el área de estudio

TEMATICAS IMPLEMENTADAS	
GRIDCODE	CLASSNAME
1	Pastos Limpios
2	Pastos Arbolados
3	Bosque Fragmentado
4	Tierras Desnudas
5	Tejido Urbano Discontinuo

Fuente: Elaboración propia

6.1 CAMBIOS EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL HUMEDAL LAS GUACAS

De acuerdo con la metodología Corine Land para Colombia, el humedal Las Guacas se considera que es uno de tipo lago de agua dulce que se clasifica como lacustre (lagos permanentes) según la convención de Ramsar, lo cual concuerda con lo dicho en el Plan de Acción Trienal 2004-2006, “Construyamos el sistema Regional Ambiental” de la Corporación Autónoma Regional del Cauca-CRC. Sin embargo, las alteraciones sufridas en este ecosistema han hecho que presente algunas características similares a las de un pantano de agua dulce debido a que su espejo de agua ya no existe.

El humedal ha sufrido una reducción severa de las coberturas propias de un humedal y, por ende, la pérdida total del espejo de agua. Además, el área circundante al humedal que está incluida en el estudio se mostró en un principio rodeada por una matriz rural: pastos limpios y ganadería, y en etapas posteriores la matriz circundante fue de rápido crecimiento urbano, consecuencia del proceso de rápida y desordenada urbanización (Ortiz, 2014).

Lo antes planteado es porque el ecosistema es víctima de procesos de conflicto generados en la ciudad de Popayán ante la necesidad de atender lo que se ha denominado vivienda de interés social y la reubicación de familias que se encontraban en zonas de alta vulnerabilidad y riesgo, lo cual hizo que la gobernación autorizara la transferencia de un bien inmueble con área aproximada de 62 ha para el proyecto de vivienda Ciudad Futuro Las Guacas, que implicó afectaciones irreversibles en las condiciones, no solo desde los factores bióticos y abióticos sino también desde los socioculturales sobre el humedal en mención. Además, el proyecto de vivienda comenzó en 2003 sin el cumplimiento de ningún proceso ambiental, como las licencias ambientales y los planes de gestión ambiental que deben abordarse ante el Plan de Gestión Ambiental y la Administración Pública (Paz, 2016)

6.2 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

El análisis de cobertura terrestre correspondiente a los años interpretados muestra el área de estudio durante los últimos 26 años. En la zona se evidenció procesos de desecación por implementar actividades urbanísticas. Asimismo, durante este período estuvo amenazado por la contaminación y otras formas de intervención (tensores), promoviendo el cambio de coberturas de bosques de galería, pastos arbolados y pastos en transición a tierras desnudas y tejido urbano discontinuo, y causando finalmente, la pérdida total del espejo de agua.

Para un análisis multitemporal más detallado, se proporciona información sobre la interpretación de imágenes, una descripción de las unidades de cobertura de la tierra identificadas, así como información proporcionada por documentos e investigaciones. Por ello, se analizan los resultados de la superposición digital de las unidades determinadas para cada año, en los que se detectan las coberturas que han sufrido cambios y se pueden cuantificar las coberturas que ganan o pierden área, lo que suele denominarse dinámica de cambio, porque se supone que la pérdida de superficie de una determinada clase corresponde a su sustitución por otra cobertura cuya clase fue

reconocida en el momento de la clasificación, lo que es consecuente con lo planteado por Peguero, (2012)(Sánchez, 2019) cuando afirma:

Para estudiar la dinámica de cambios de cobertura vegetal normalmente se debe responder a las preguntas ¿Qué cambio ha ocurrido entre determinadas fechas? ¿Cuánto cambió?, ¿Dónde cambió? y ¿A qué cambió? De igual modo se puede preguntar a una serie de fechas ¿Cuál es la situación de la última fecha respecto de los datos históricos (máximos, mínimos, media)? y de esta forma conocer la tendencia de los recursos vegetales.

Las técnicas utilizadas para analizar el cambio y responder a estas preguntas incluyen la comparación de mapas temáticos, el estudio de datos continuos de sensores remotos y estudios de series temporales con los mismos datos históricos.

6.3 DINÁMICA DE CAMBIOS EN UNIDADES DE COBERTURA DE ACUERDO A LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS.

Se determinaron tres categorías de clasificación de la dinámica de cambios influenciados por diferentes actividades antrópicas: (a) cambio de uso urbanístico, (b) ganancia, y (c) pérdida, las cuales son descritas a continuación.

- Cambio de uso urbanístico. Esta unidad corresponde a aquellas áreas que pasaron de unidades de cobertura de pastos, pastos arbolados y bosque fragmentado a área urbanizada, donde se mantiene el desarrollo de actividades urbanísticas para la construcción de viviendas y otras formas de intervención(tensores).
- Ganancia. Las ganancias se determinaron por (a) el cambio de coberturas de pastos a coberturas de bosques; (b) pastos a pastos arbolados y (c) de tierras desnudas a pastos y/o pastos arbolados. Es decir, esta categoría agrupa cambios

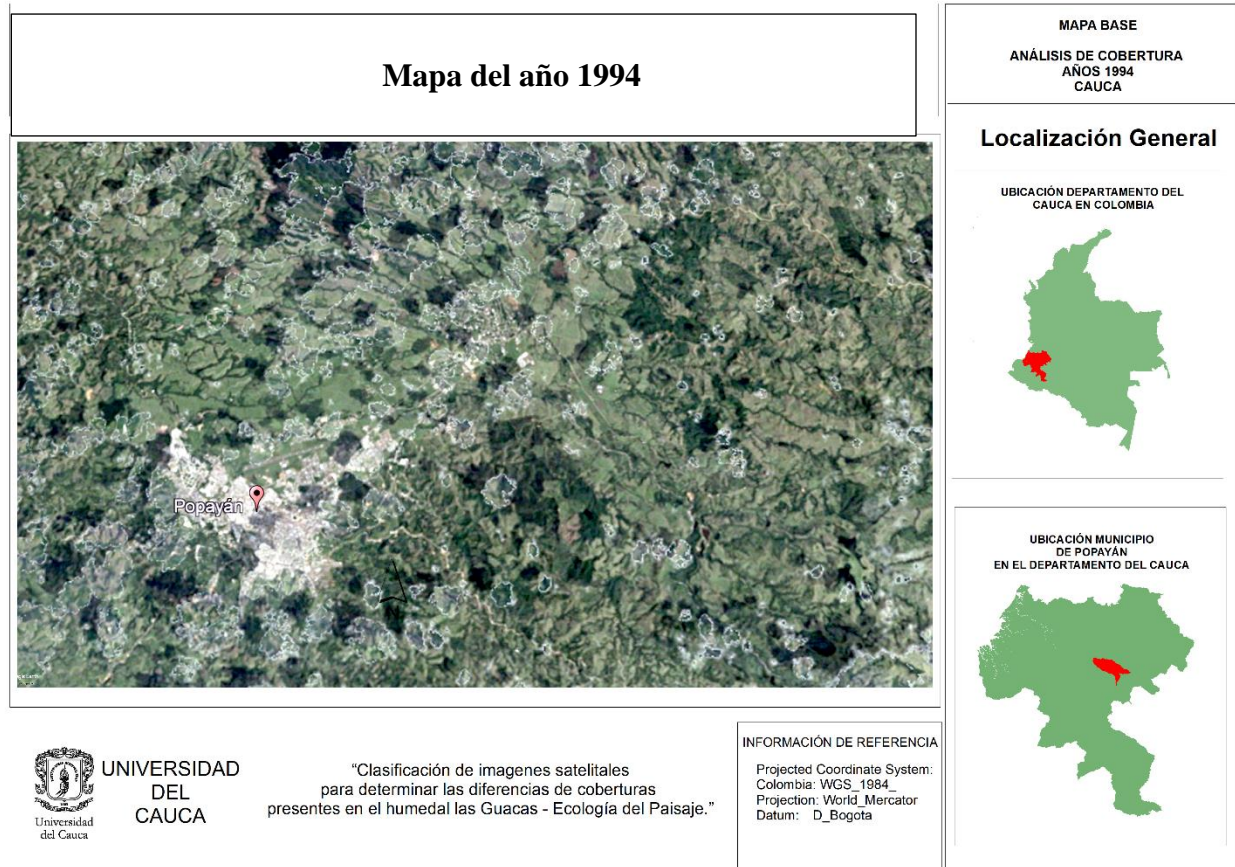
que signifiquen beneficios ecosistémicos para el humedal en cuanto a la regulación hídrica, movilidad de fauna silvestre, calidad del paisaje, control de erosión, recuperación del espejo de agua, entre otros.

- Perdida. Se consideraron como pérdidas los cambios en las unidades de coberturas que provocan la fragmentación ecosistémica, el deterioro de la calidad del paisaje, la incorporación de actividades urbanísticas, la reducción del espejo de agua del humedal.

Para determinar la dinámica de cambios en el área de estudio según siete imágenes interpretadas año tras año, se describe cada imagen y se complementa con información secundaria para describir los sucesos que cambiaron el ecosistema, luego se determina el periodo de tiempo total. 20 años de cambios significativos que se refieren al resultado de la suma de dichos acontecimientos, la mayoría de los cuales son producto de actividades hechas por las actividades antrópicas quizás relacionadas con aspectos históricos.

Los análisis efectuados para cada periodo incluyeron el cálculo de las unidades de coberturas en las que se produjo el cambio, el tipo de cambio producido, la posible causa del cambio y finalmente se determinó cuál es la tendencia o dinámica general en las coberturas de la tierra. A continuación, se presenta la descripción de cada ilustración.

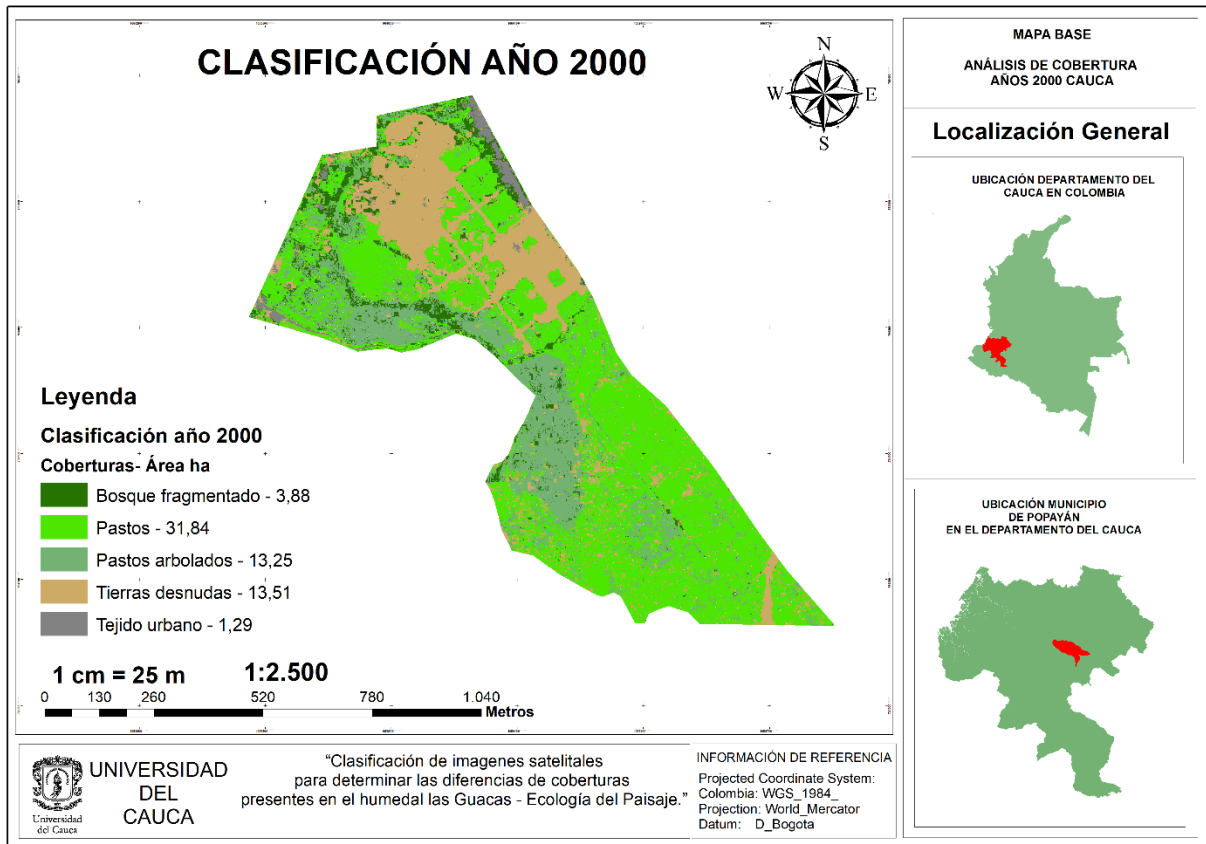
Mapa 1. Cobertura del área de estudio 1994



Fuente: elaboración propia

El humedal poseía excelentes condiciones debido a que no existía ningún daño o intervención antrópica, de hecho, este lugar era de ayuda para algunas familias que recolectaban mora para la venta y sustento de sus familias, existía gran cantidad de fauna y flora, aves migratorias que visitaban el lugar por el espejo de agua que existía en su momento (paz, 2016). Este mapa en particular no fue posible realizarle la clasificación de coberturas vegetales porque al realizar los análisis de la densidad de píxeles y el número de bandas que tenía la imagen no permitió realizar dicha clasificación debido a que daría un mal registro de resultados. Razón por la cual fue desestimada para ese proceso.

Mapa 2. Mapa de la clasificación de coberturas del área de estudio para el año 2000



Fuente: Elaboración propia

El mapa 2. muestra principalmente la extensión(ha) y la composición del humedal para el año 2000 de acuerdo a las coberturas identificadas por la metodología Corine Land Cover en un análisis multitemporal de la imagen clasificada, que incluye aproximadamente 63,77 ha de humedal y las áreas más cercanas, correspondientes a bosque fragmentado (3,88 ha), pastos arbolados (13,25 ha), pastos limpios (31,84 ha), tierras desnudas (13,51 ha) y tejido urbano discontinuo (1,29ha). Que en porcentaje corresponde al 6%, 21%,50%,21% y 2% respectivamente.

Este año, el ecosistema recibió el primer impacto de un tensor ambiental, ya que se inició la construcción de la vía que va del barrio la Paz al Penal de San Isidro, para lo cual son colocados tuberías de cemento. Están posicionados para permitir el paso de la carretera, pero generando alteración del flujo natural de agua en la quebrada Lame. Esta situación

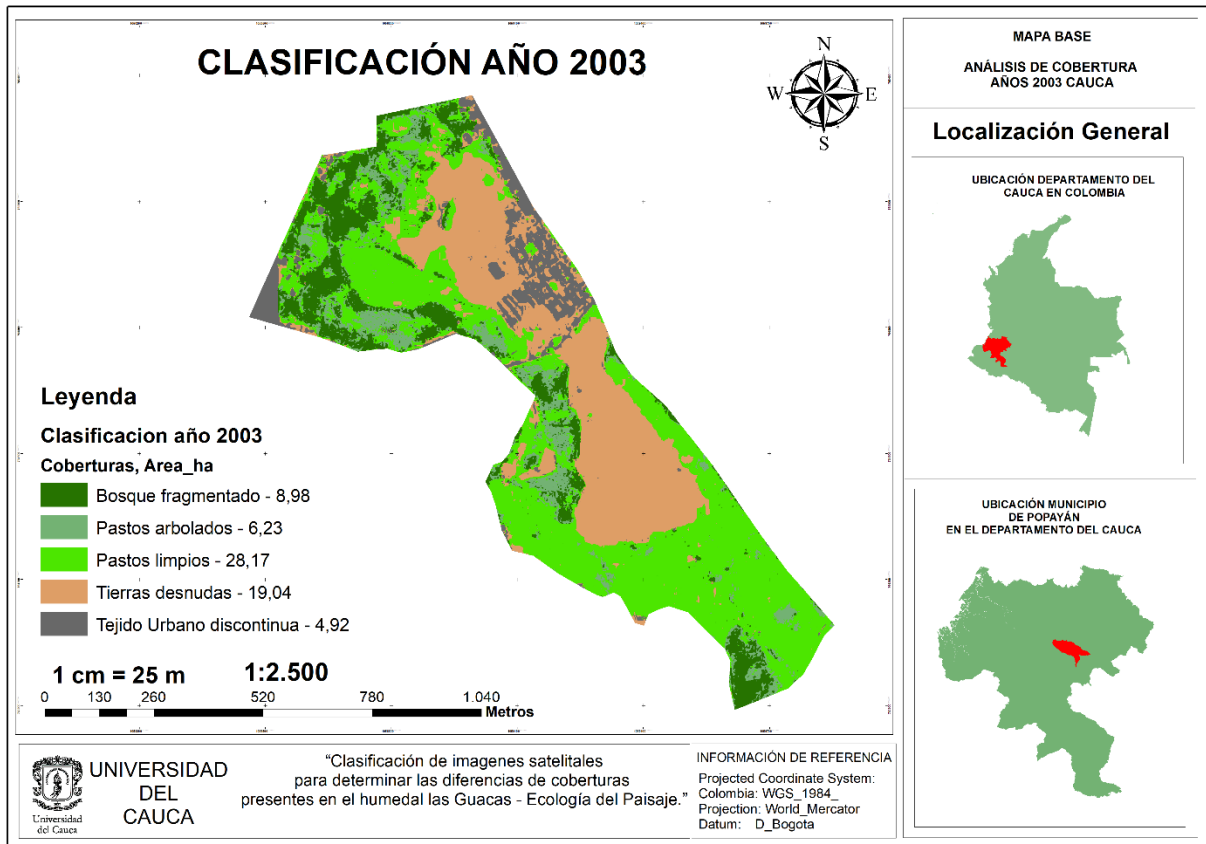
llevó a la "división" del complejo en los Humedales 2 y 3. En el caso del humedal 1, se denomina así principalmente por razones de drenaje natural, ya que parte del agua que abastece al complejo se dirige hacia el sur, formando un pequeño sistema de drenaje según esta dirección llevando sus aguas hacia el río Cauca, en el sur. la zona limítrofe de la Facultad de Ciencias Agrarias (Paz, 2016)

Fotografía 1. Box Coulvert para habilitar el paso por el complejo de humedales. 2004



Fuente: Paz, (2016)

Mapa 3. Mapa de la clasificación de coberturas del área de estudio para el año 2003



Fuente: Elaboración propia

El mapa 3. muestra la cobertura terrestre identificada por Corine Land Cover en un análisis multitemporal de la imagen de 2003, cubre aproximadamente 63,77 ha, correspondientes a bosque fragmentado (8,98 ha), pastos arbolados (6,23 ha), pastos limpios (28,17 ha), tierras desnudas (19,04 ha) y tejido urbano discontinuo (4,92 ha). Que en porcentaje corresponde al 14%, 9%,42%,28% y 7% respectivamente.

Ese año, luego de la presentación de la construcción de la carretera, los esfuerzos de 2003 se concentraron en el manejo de los ecosistemas de humedales, demostrando interés por su conservación, y desde entonces la Corporación Autónoma Regional del Cauca en su jurisdicción se ha enfocado en desarrollar un estudio sistemático en distintas regiones del Departamento titulado "estudio para humedales en la meseta de Popayán". En él se identificaron y clasificaron todos los humedales de esta cuenca, los cuales se

establecieron en cinco grandes complejos entre ellos se ubica la Meseta de Popayán, en el cual, está el Humedal las Guacas, su clasificación se realizó respondiendo a los lineamientos del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial para ecorregiones estratégicas (Paz, 2016).

En este estudio se identificaron conflictos como el vertimiento de aguas residuales, uso doméstico, ganadería en la zona protectora, pero no se registra un impacto por urbanización. Además, se plantean muchas amenazas derivadas de los proyectos de urbanización. Por otro lado, se han establecido algunos servicios de humedales, los cuales fueron determinados para la ganadería como reservorio de agua, hábitat de vida silvestre, esponja que controla el flujo de agua en temporada de lluvias y referente para el trabajo y estudios ambientales de la Universidad del Cauca (Paz, 2016).

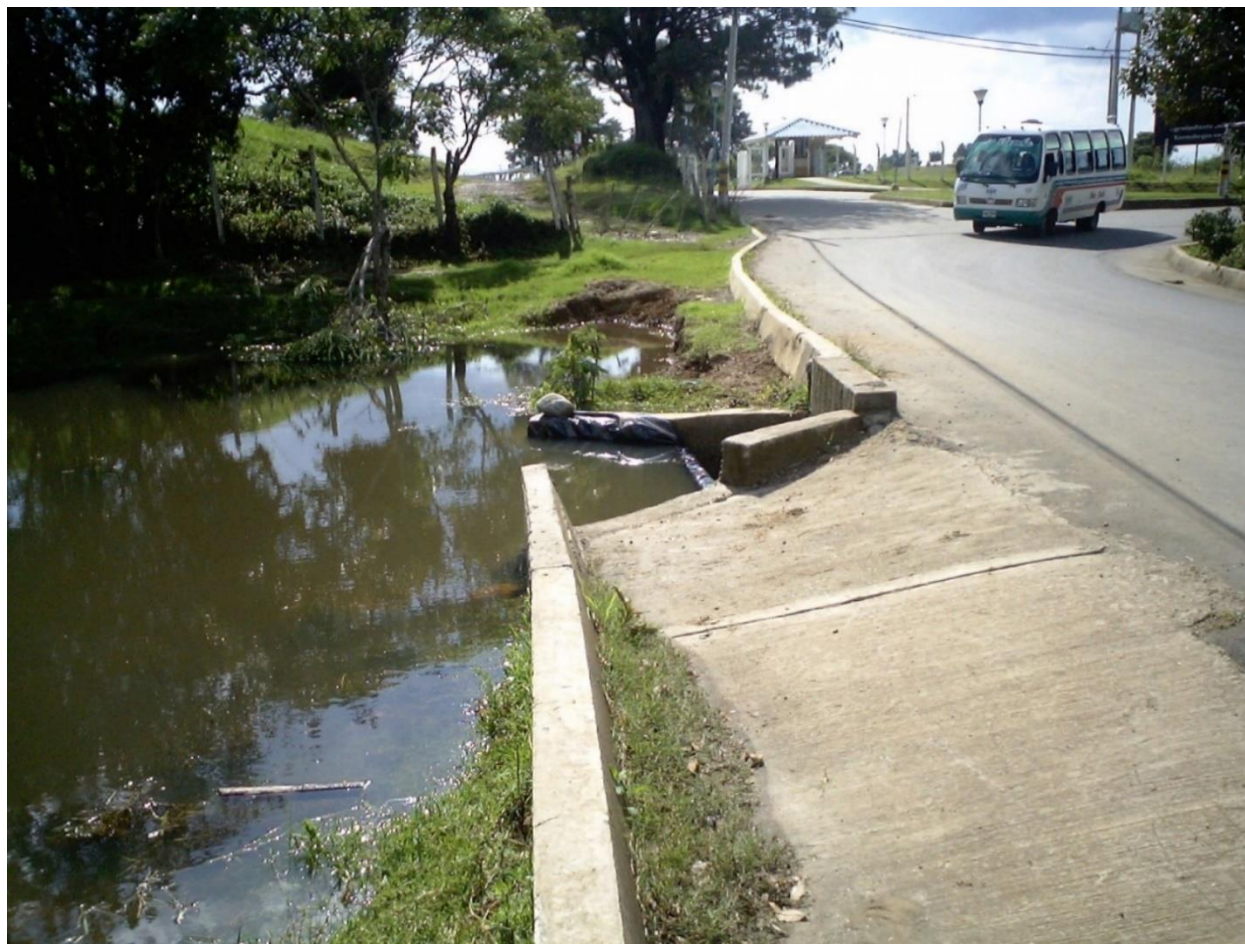
Sin embargo, se puso en marcha un proyecto sin el trámite de licencia ambiental y plan de manejo correspondiente, como lo exigía la Ley en su momento. Se incurrió en una falta a la normatividad y función de la institución. Se sabe que este humedal, gracias a su cercanía a la sociedad, potencial económico benéfico y conocimiento ecológico, es un ecosistema valioso en la Meseta de Popayán (Paz, 2016).

Lamentablemente, los estudios y caracterizaciones realizados allí no fueron tomados en cuenta a la hora de tomar decisiones sobre el uso del territorio. Los procesos de conflictividad que se presentan en la ciudad se aprueban por la necesidad de atender lo que se conoce como vivienda de interés social y la reubicación de familias que se encuentran en zonas de alta vulnerabilidad y riesgo. Se ha aprobado un área de unas 62 hectáreas para el proyecto de vivienda Ciudad Futuro Las Guacas, que afectó al humedal en cuestión. Lo que empezó sin dar tramites ambientales y menos un plan de obras por las entidades correspondientes. Además, cuando se inició el proyecto se encontraron vestigios paleontológicos o arqueológicos de los cuales ni la Gobernación del Cauca, ni la Corporación Minuto de Dios, realizaron los tramites de reporte al respectivo Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICAN), como lo establece la Ley ya que los resultados generarían la inmediata suspensión de las obras de explanación. De

presentarse los informes en tiempo y forma, se hubieran podido establecer alternativas administrativas para el desarrollo del proyecto habitacional sin lesionar el patrimonio histórico y cultural (Paz, 2016)

Sin embargo, por el bien del medio ambiente, los profesores Sandra Morales y Nelson Vivas del Departamento de Ciencias Agropecuarias, en el año 2003 intentaron buscar un “comodato ambiental” para el área o zona reconocida como humedal Las Guacas que le serian asignadas en los años 2007-2014 a la Universidad del Cauca para manejar a través de estrategias de investigación, conservación, rehabilitación y restauración que busquen encontrar la forma de preservarlo como un área de interés ambiental y desarrollar trabajos académicos. Este primer intento no se materializó, pero la intención permaneció latente (Paz, 2016).

Fotografía 2. Humedal 2, antes de su paso por la construcción del box coulvert, 2004.



Fuente: Paz, (2016)

Fotografía 3. Humedal 2, al fondo se ve el cabezal del box coulvert, 2004.



Fuente: Paz, (2016)

Fotografía. 4 Humedal 3, después de construido el box coulvert, 2004



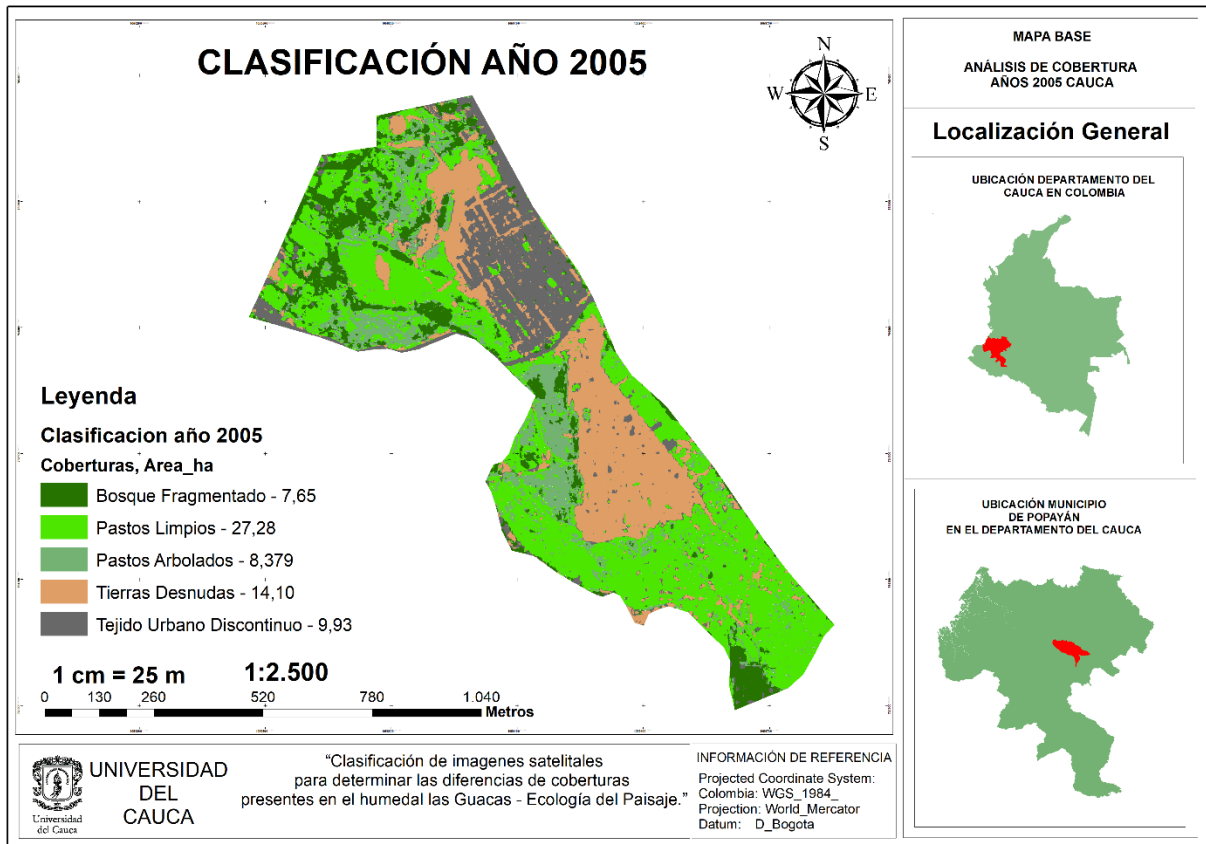
Fuente: Paz, (2016)

Fotografía 5. Humedal 1, sus aguas van hacia el río Cauca, 2004.



Fuente: Paz, (2016)

Mapa 4. Mapa de la clasificación de coberturas del área de estudio para el año 2005



Fuente: Elaboración propia

El mapa 4. muestra la cobertura terrestre identificada por Corine Land Cover en el análisis multitemporal de la imagen de 2005, cubre alrededor de 63,77 ha, correspondientes a bosque fragmentado (7,65 ha), pastos arbolados (8,38 ha), pastos limpios (27,28 ha), tierras desnudas (14,1 ha) y tejido urbano discontinuo (9,93 ha). Este porcentaje corresponde al 11%, 12%, 41%, 21% y 15% respectivamente.

Los cambios continuaron ocurriendo año tras año, por lo que, en 2004, luego de un cambio de gobierno, hubo un enfoque renovado en la búsqueda de Comodato por el mismo objetivo, lo que generó una respuesta positiva por parte del gobierno del Ministerio. El contrato de préstamo se firmó entre las dos partes en 2005 por un período

de 4 años (2009) y se solicitó a la Corporación Autónoma Regional del Cauca que interviniera en la dirección de realizar levantamientos topográficos y demarcar el área.
Fotografía. 6.Mojones para delimitación del área del humedal. 2004

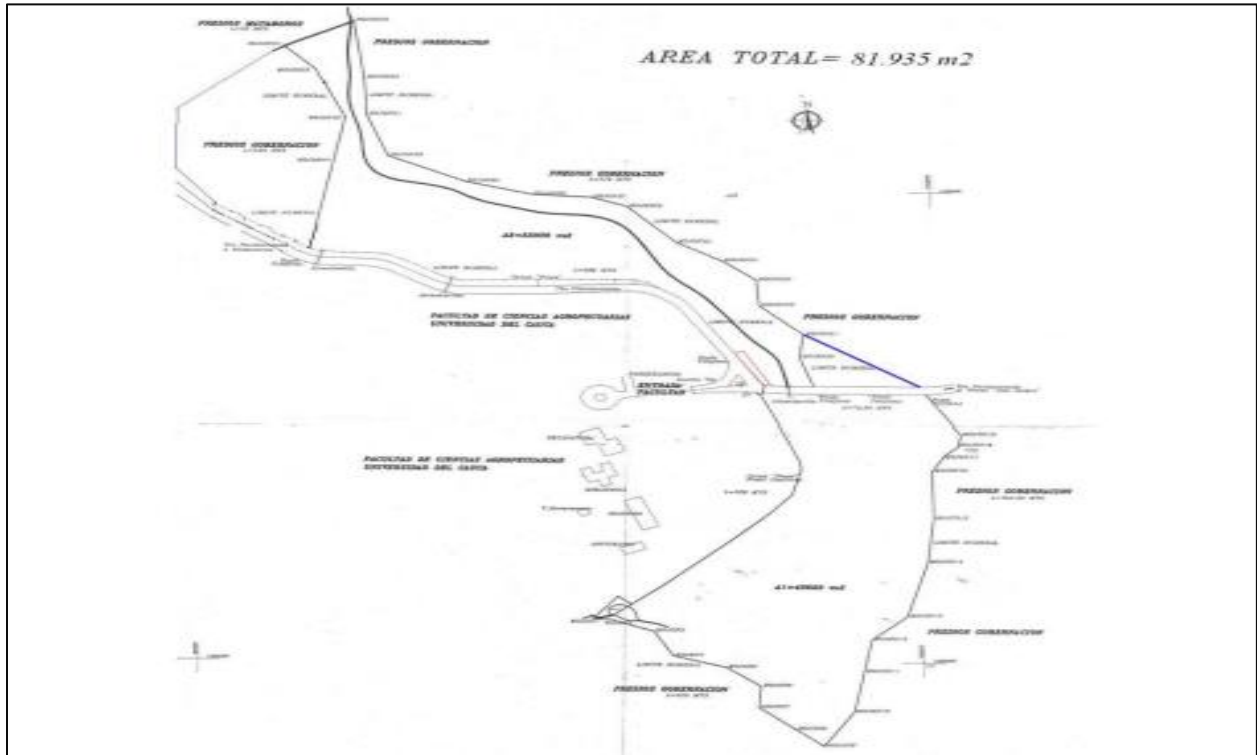
Fotografía 7. Fotografía. 6.Mojones para delimitación del área del humedal. 2004



Fuente: Paz, (2016)

A ello se anexa una imagen que delimita el área del humedal las Guacas.

Ilustración 6. Mapa que delimita el área del humedal Universidad del Cauca



Fuente: Paz, (2016)

Con base en lo establecido en el comodato, docentes y estudiantes de diferentes carreras comenzaron a realizar diversas acciones para restaurar las condiciones del humedal, mediante la implementación de jornadas laborales. integral.

En 2006, la C.R.C. gracias al convenio anterior, realizaron un inventario de humedales en la cuenca del Cauca. Es así como se implementó la "Caracterización ambiental preliminar de los humedales de la meseta de Popayán y Puracé, y el "Plan de manejo del complejo de humedales de la meseta de Popayán". Se identificaron dos áreas prioritarias para la caracterización e inventario de humedales mediante la implementación de la "Guía para la formulación de Planes de manejo para humedales de importancia internacional y otros humedales". También se concluyó que los humedales de Popayán son de gran riqueza y que los elementos que componen el

paisaje y por su ubicación geográfica le otorgan un carácter fisiológico al sistema, dotándolo de propiedades que lo hacen único e irreparable (Paz, 2016).

Por si esto fuera poco, en el marco de la Política Nacional de Humedales, se ha identificado la problemática ambiental de los factores que los afectan debido a las actividades humanas. En la cual, humedal las Guacas tiene una afectación de magnitud 2 de perturbación severa y 3 perturbación puntual, la numero 3 que corresponde a transformación total queda excluida por que aun presenta condiciones de humedales (Paz, 2016).

El estudio también proporciona una evaluación económica, social y cultural del humedal. En la situación actual, la falta de conocimiento sobre los valores y beneficios de los humedales es uno de los principales problemas que afectan su conservación. En términos de valor estético, cultural y religioso, el humedal Las Guacas ha sido identificado como un ecosistema con alto potencial de investigación, procesos participativos, potencial estético y restauración de espacios públicos (Paz, 2016).

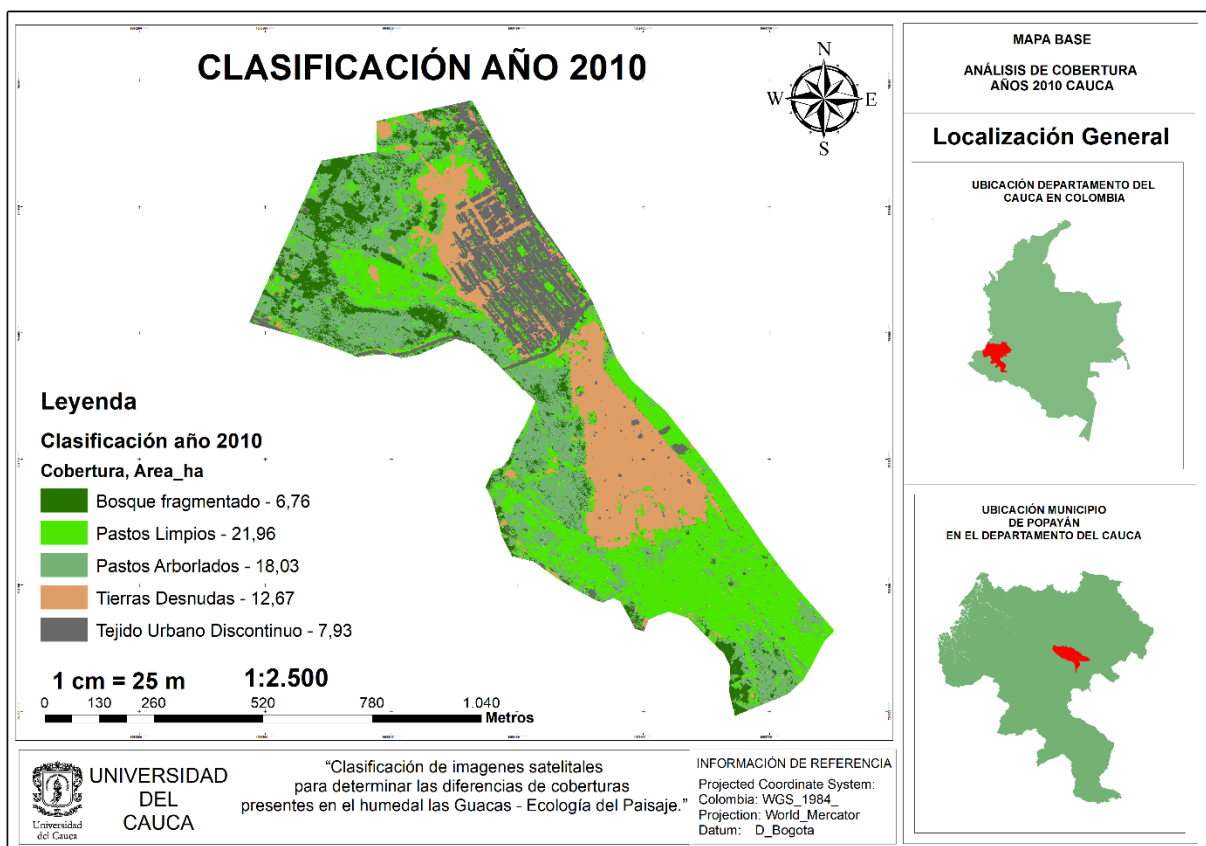
Para actividades como recreación, educación e investigación, se dice que tienen un alto potencial de esparcimiento y relajación para actividades de senderismo y ecoturismo. En particular, el humedal Las Guacas, por su cercanía a la comunidad, potencial económico benéfico y conocimiento ambiental, es un humedal de gran valor en la Meseta de Popayán (Paz, 2016)

Fotografía. 8 Ganadería en la franja protectora del humedal las Guacas.



Fuente: Paz, (2016)

Mapa 5. Mapa de la clasificación de coberturas del área de estudio para el año 2010



Fuente: Elaboración propia

El mapa 5. muestra el área(ha) y las coberturas identificadas de acuerdo a Corine Land Cover en el análisis multitemporal de la imagen del año 2010, lo que cubre alrededor de 63,77 Has, correspondientes a bosque fragmentado (6,76 ha), pastos arbolados (18,03 ha), pastos limpios (21,96 ha), tierras desnudas (12,67 ha) y tejido urbano discontinuo (7,93 ha). Que en porcentaje corresponde al 10%, 27%, 32%, 19% y 12% respectivamente.

Algo importante está sucediendo este año, a partir del período correspondiente de los años 2007-2014, la Universidad del Cauca, a través de profesores y estudiantes de la Facultad de Ciencias Agrarias, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la

Educación, Facultad de Ingeniería Civil con su programa Ingeniería Ambiental y Facultad de Ciencias Humanas con el programa de Geografía, han emprendido proyectos de investigación para humedales de la meseta de Popayán, incluyendo el humedal Las Guacas. Parte de esta investigación se llevó a cabo durante los años del comodato ambiental y otros posteriormente a la terminación del mismo. Destaco, entre otros, los siguientes:

- “Caracterización ambiental de los humedales en una franja subandina del municipio de Popayán – Cauca”. 2007. Diana Bianey Artunduaga Pombo (Programa de Biología). Se ha realizado una caracterización de humedales con altitudes que van desde los 1.600 a los 1.900 m, para crear un punto de partida y fuente de información sobre distribución (inventario inicial) y evaluaciones ecológicas sobre el estado de conservación de los humedales de la zona.
- “Diagnóstico y formulación de estrategias participativas para la recuperación y conservación del “humedal Las Guacas” del municipio de Popayán. 2007. Rubén Darío Caicedo y Juan Carlos Chilito (Programa de Geografía). Realizó un diagnóstico participativo, que ayuda a identificar la dinámica, los actores y las actividades que se desarrollan en este ámbito. El trabajo une a las comunidades locales asociadas con el humedal de Las Guacas.
- “Valoración económica y ambiental del humedal Universidad”, 2008, ejecutado por los estudiantes de VIII semestre del programa de Ingeniería Forestal de la Universidad del Cauca, en el que se estableció el estado actual del humedal en cuanto a su funcionamiento biológico y ecológico con relación a la afectación generada por actividades antrópicas.

En el año 2009, se caracterizaron las algas planctónicas y perifíticas de humedales de la meseta de Popayán, Departamento del Cauca, ejecutado por Vivian Carolina Moreno Insuasti (Programa de Biología), con el fin de mejorar el conocimiento de la estructura y función de estos ecosistemas. En el mismo año, Nina Stella Ramírez Potosí realizó una investigación sobre diversidad de odonatos

(Insecta: Odonata) en humedales del municipio de Popayán, Cauca, donde se caracterizó los diferentes tipos de humedales del municipio de Popayán (Palustre, Lacustre, Artificial) y su entorno (Bosque, Pastizal, Cultivo), analizando la diversidad de odonatos (Anisoptera y Zygoptera), como aporte al conocimiento de estos ecosistemas estratégicos.

- En el año 2010 los estudiantes Diana Castillo, Jorge Zúñiga y Juliana Zúñiga realizaron el estudio conducente a establecer lineamientos para el manejo, protección y rehabilitación ecológica del humedal Universidad, a partir de la caracterización biológica y socioeconómica de la vereda Las Guacas, Popayán, Cauca. Se determinó la composición florística de la zona de ronda del humedal, se caracterizó la entomofauna asociada a este ecosistema, tomando familias como indicadoras del estado de dicho sistema, se realizó la caracterización social y económicamente el área de influencia del humedal y se propuso participativamente lineamientos para el manejo, protección y rehabilitación ecológica del humedal.
- En 2014 se presentó una propuesta bajo el Convenio 031521-10-2013 firmado entre la C.R.C. y la Universidad del Cauca, cuyo objeto del contrato es desarrollar un plan de manejo ambiental y restaurar humedales en la región de Guacas. Lamentablemente, este convenio fue cancelado a pedido de la Universidad del Cauca, que dijo que no podía alcanzar su objetivo debido a obras de construcción del proyecto de vivienda y otros tensores identificados como ganaderas. Sin embargo, se ha avanzado en el trabajo de estudiantes de los alumnos Silvana Sarmiento, John Calampas y Veronica Gaon, con el objetivo de conformar un plan de manejo y restauración de los Humedales de la Universidad de del Cauca. basándose en las caracterizaciones biológica, biofísica y socioeconómica. Se pretendió definir los objetivos de gestión, el plan de acción y las medidas de mitigación propuestas para el deterioro del ecosistema.

- La Corporación Autónoma Regional del Cauca teniendo en cuenta los resultados de las investigaciones anteriores, en especial sobre el tensor de la sedimentación durante la excavación del proyecto de vivienda, abrió un espacio para que la estudiante Daniela Moreno del programa de Ingeniería Ambiental realizara una práctica profesional empresarial, titulado “Apoyo técnico a la Corporación Autónoma Regional del Cauca en la formulación de propuestas para la recuperación del humedal natural “Las Guacas” en el sector de las Guacas”. Tiene como objetivo encontrar una solución a la colmatación que se presenta en los humedales y formar la recuperación óptima de los terrenos afectados mediante la apertura de la zanja para la instalación de tuberías de drenaje.

Estudios previos han demostrado que los humedales Las Guacas cuentan con una amplia gama de estudios biofísicos, socioeconómicos en diferentes escenarios de espacio y tiempo, lo que permitiría, en el marco de las decisiones de política pública, la implementación de acciones específicas de conservación, restauración y rehabilitación como espacio para proteger el medio ambiente gracias al interés ambiental, impacto de ecología del paisaje y comunidades asentadas a sus alrededores. Este humedal es otra víctima de la institucionalidad, articulación, función interinstitucional y planificación caótica con intereses.

En noviembre de 2011, ante la incursión de maquinaria pesada en la zona del humedal 2 y 3 con el objetivo de enterrar la tubería para el sistema de alcantarillado del proyecto de vivienda, el señor Juan Pablo Paz presentó un derecho de petición a la Corporación Autónoma Regional del Cauca. De la misma solicitud, se envía copia a otras instancias que por su papel y función podrían hacer seguimiento y dar opiniones a las preguntas realizadas, como quiere se usaron recursos públicos en estas obras (Paz, 2016)).

En noviembre de 2011, debido al ingreso de maquinaria pesada a los Humedales 2 y 3 con el propósito de enterrar la tubería para el sistema de alcantarillado del proyecto de vivienda, el señor Juan Pablo Paz presentó un derecho de petición a la Corporación Autónoma Regional del Cauca. Se remite copia de la misma solicitud a otros organismos

que, dados sus roles y funciones, podrán dar seguimiento y opinar sobre las cuestiones planteadas, a su exclusivo criterio, se han utilizado recursos públicos en esta labor (Paz, 2016).

Fotografía 9. Recursos públicos en la construcción de obras de alcantarillado, 2010



Fuente: Paz, (2016)

Fotografía 10. Obras de Alcantarillado I Fase afectando el humedal 3, 2010.



Fuente: Paz, (2016)

Fotografía 11. Tubería de Alcantarillado enterrada en suelos del humedal 3. 2011.



Fuente: Paz, (2016)

La oficina de planeamiento de la ciudad recibió una respuesta sobre los daños a los humedales y adjuntó un informe de la visita realizada explicando los impactos identificados por los expertos adscritos a esa dependencia. Además, Planeación municipal manifiesta que en el POT no se identifica el humedal Las Guacas, pero indica que están en proceso previo a la aprobación del Concejo y con ello la actualización del ordenamiento en lo referente a humedales. Además, se dice que la construcción de obras del proyecto corresponde a la Corporación Minuto de Dios y que el Municipio, a través de la Secretaría de Infraestructura es responsable de la interventoría.

Fotografía 12. Zanjas abiertas con maquinaria afectando humedal 1 y 2. II Fase obra



Fuente: Paz, (2016)

Fotografía. 13. Recorrido con funcionarios de instituciones y comunidad observando la problemática. 2011



Fuente: Paz, (2016)

Por su parte, en el año 2011 un grupo de funcionarios de la CRC adscritos a la Subdirección de Defensa del Patrimonio Ambiental, hacen llegar a ésta subdirección un “informe de visita al humedal Las Guacas” donde se evidencia la afectación a éste ecosistema estratégico por problemas de colmatación, alteración de la estructura biótica del humedal, la disminución del área de vegetación propia del humedal, y la zanja que por acción de maquinaria pesada para enterrar la tubería del alcantarillado ha generado un impacto al humedal. en el informe se concluye que de manera inmediata se suspendan todas las actividades concernientes al avance de la construcción del proyecto hasta tanto la constructora del proyecto presente los trámites correspondientes ante la Corporación, se restablezca el cercamiento y señalización del humedal para protegerlo de las obras y por último solicita oficiar a los actores involucrados Corporación Minuto de Dios, Planeación Municipal, Empresa de Acueducto y Alcantarillado, Procurador Agrario

y Ambiental, lista a la que se incluye a la Universidad del Cauca, para definir responsabilidades y establecer acciones correctivas.

Debido a la falta de una respuesta de la entidad ambiental requerida durante el período de fundación, se conformó al grupo pro defensa del humedal Universidad del Cauca y mediante oficio firmado por estudiantes, profesores e integrantes de la comunidad se solicitó al Procurador General de la Nación una Audiencia Pública Ambiental Pro Defensa del Humedal Universidad del Cauca, con el fin de discutir los impactos del proyecto de vivienda Ciudad Futuro Las Guacas. Posteriormente, la Procuraduría Regional del Cauca remite la petición al Procurador Agrario y Ambiental del Cauca.

Fotografía 14. Grupo Pro humedal Universidad del Cauca. 2011.



Fuente: Paz, (2016)

Sin embargo, por solicitud de la C.R.C., se realizó una primera mesa de trabajo para discutir el tema de responsabilidades y afectación sobre el humedal. Se presentaron escenarios por parte de los actores involucrados del proceso, se realizaron diversos

análisis de la situación, se escuchó a los constructores del proyecto de vivienda y a los del alcantarillado, generándose diversas posturas en defensa de la vivienda de interés social, de la necesidad de llevar a feliz término el proyecto y de la posibilidad de perder recursos del estado por la situación presentada.

Fotografía 15. Mesa de trabajo interinstitucional para analizar las responsabilidades.



Fuente: Paz, (2016)

Por ello y para encontrar una solución al problema, se realizó una visita técnica para analizar la situación actual y eventualmente llegar a acuerdos para evitar el impacto de las obras, en particular, de los sistemas de alcantarillado que han afectado de manera irreversible las condiciones naturales de los humedales

Fotografía 16. Visita técnica interinstitucional a las obras y los impactos al complejo de humedales



Fuente: Paz, (2016)

El 17 de enero de 2012, la C.R.C. Respondió al derecho de petición de noviembre de 2011, señalando que, en virtud del mandato legal, establecido en el Decreto 2820 de 2010, “no expide licencias ambientales para este tipo de proyectos” por lo que este aspecto es inimaginable por estar fuera de la competencia de entidad.

Asimismo, el 16 de marzo de 2012, se llevó a cabo una audiencia pública ambiental en las instalaciones de la C.R.C., donde profesores, concejal, representantes de la comunidad, el director y su equipo de trabajo realizaron diversas manifestaciones en la temática y explicaron las situaciones presentadas en el humedal. En ella, algunos abogaron por la protección de los recursos naturales y un ambiente sano y otros defendieron sus puntos de vista sobre el derecho de la comunidad a tener vivienda.

A mediados de 2013, los daños a las viviendas y la salud trastornaron a la comunidad. Además, los vecinos comenzaron a ampliar sus viviendas sin pensar ni recibir instrucciones de la Corporación Minuto de Dios sobre estructuras que, durante un evento sísmico, inevitablemente generarían situaciones trágicas importantes para las personas que habitan en estas viviendas. Además, en muchas ampliaciones de patios con baños, las aguas servidas están asociadas a los desagües pluviales que desembocan en los humedales, provocando problemas de salud ambiental para el del entorno. A ello se suma que había roedores, ganado que deambulan constantemente por la zona pastando en los humedales o destruyendo los huertos familiares y un problema de basura.

Fotografía 17. *Ampliaciones de vivienda con generación de riesgos y vulnerabilidad a eventos*



Fuente: Paz, (2016)

Fotografía 18. Alcantarillado pluvial al que se ha conectado aguas servidas y son deyectadas al humedal



Fuente: Paz, (2016)

Fotografía 19. Obras generando tensores por sedimentación al humedal, sin planes de manejo establecidos.



Fuente: Paz, (2016)

Fotografía 20. Ganado pastoreando en la zona del humedal.



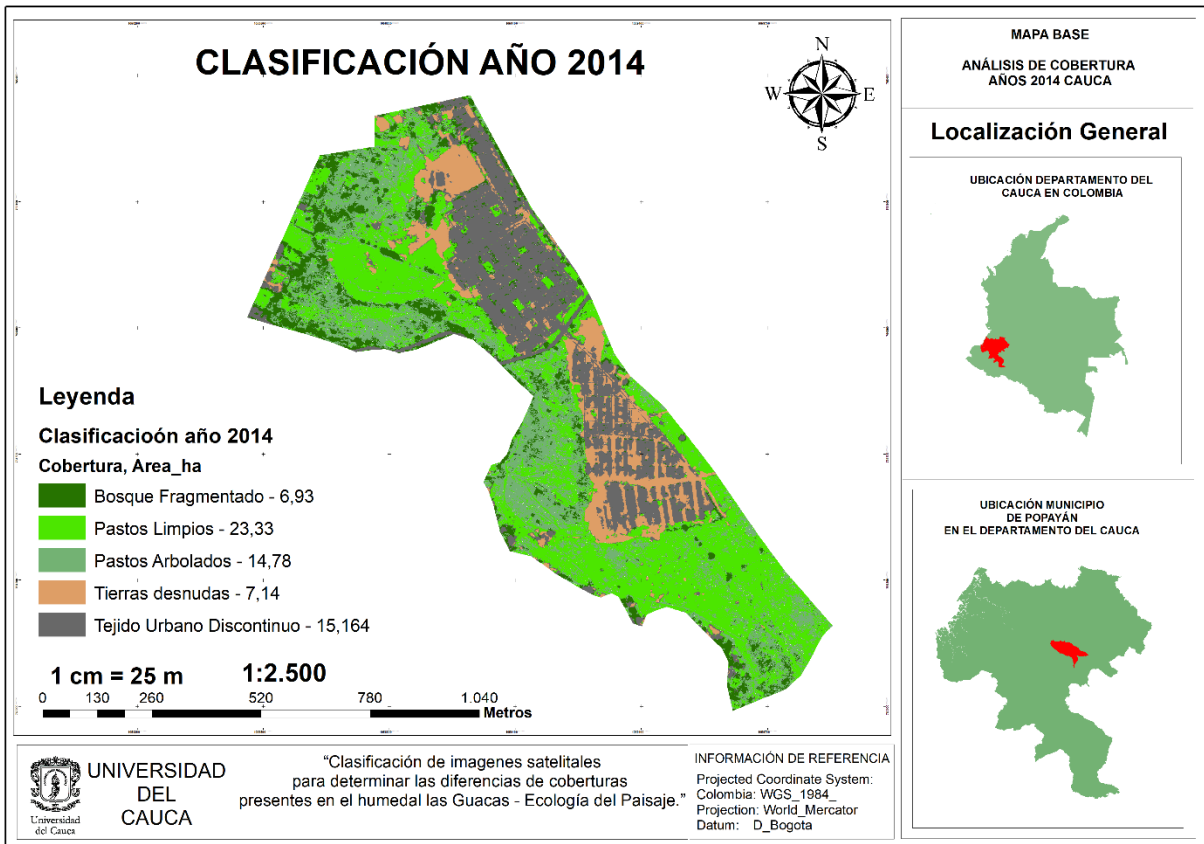
Fuente: Paz, (2016)

El grupo pro humedal, para proteger los humedales afectados por el proyecto de vivienda, 2011-2014 después de revisar la negligencia e ignorar los esfuerzos de responsabilidades por las instituciones involucradas, solicitó apoyo para establecer la figura jurídica Constitucional en busca de justicia ambiental para que ecosistemas representados en los humedales urbanos en la ciudad no siguieran siendo blanco de los atropellos institucionales. Se pretendía con el concurso de esa instancia de defensa de los derechos colectivos y del ambiente, sentar un precedente para la ciudad en esta temática.

En 2015, en abril, se presentó un estudio de cada procedimiento y se construyó en conjunto desde las Ciencias del derecho y del Ambiente, la Acción Popular presentada por los actores Juan Pablo Paz y Coadyuvada por la Defensoría del Pueblo ante los Jueces Administrativos del Circuito de Popayán. Esta acción permitió accionar contra el

departamento del Cauca, Municipio de Popayán, Corporación Autónoma Regional del Cauca y la Corporación Minuto de Dios.

Mapa 6. Mapa de la clasificación de coberturas del área de estudio para el año 2014



Fuente: Elaboración propia

El mapa 6. muestra las coberturas identificadas de acuerdo a Corine Land Cover en el análisis multitemporal de la imagen del año 2014, cubre alrededor de 63,77 ha, correspondientes a bosque fragmentado (6,93 ha), pastos arbolados (14,78 ha), pastos limpios (23,33 ha), tierras desnudas (7,14 ha) y tejido urbano discontinuo (15,16 ha). Que en porcentaje corresponde al 10%, 22%, 35%, 11% y 22% respectivamente.

Para este periodo, en junio de 2015, se determina por parte del Juzgado Cuarto Administrativo de Popayán la participación de todas las partes involucradas para su

recuperación. Además, se decreta una medida cautelar para que los humedales no sigan deteriorándose, que consiste en el aislamiento del humedal para evitar los tensores como ingreso de personas, maquinaria, animales y la invasión de casetas. Esta medida involucró a la C.R.C., la Gobernación del Cauca y la Corporación Minuto de Dios (Paz, 2016)

Sin embargo, las organizaciones difieren y solo están comprometidas con actividades de recuperación, rehabilitación y conservación como aislamiento (amojonamiento, cercos vivos y posteadura), sendero ecológico, capacitación de la comunidad, reforestación (obedece una zonificación del ecosistema que garantizó la recuperación de algunas zonas, el embellecimiento y conservación de otras) y estudio de sedimentos (Pautas técnicas requeridas como son las obras biomecánicas y de ingeniería necesarias para la recuperación del espejo de agua y rehabilitación de zonas en el humedal). Así mismo, se comprometieron a verificar la recuperación y tomar las medidas conducentes tendientes a que el espejo de agua mantenga en condiciones óptimas el humedal.

Algunas de las acciones puntuales adelantadas por la C.R.C y la Gobernación del Cauca se pueden mostrar en las siguientes fotografías, dentro de la etapa de seguimiento. En el se pueden observar el aislamiento de la zona del humedal y su zona de protección. Aun así, las diferentes entidades y participantes de la comunidad sostienen el compromiso de continuar con las acciones tendientes al proceso de la recuperación total del humedal.

Fotografía 21. Aislamiento humedal 3.



Fuente: Paz, (2016)

Fotografía 22. Aislamiento humedal 2.



Fuente: Paz, (2016)

Fotografía 23. Sendero Ecológico de 150 metros sobre la franja del humedal 2.



Fuente: Paz, (2016)

Fotografía 24. Especies forestales utilizadas en la reforestación.



Fuente: Paz, (2016)

Persisten los problemas causados por los tensores y alterando la condición natural de los humedales, y el proceso de sedimentación no es solo producto de la explanación sino también de la construcción, alcantarillado y vías, hoy sigue causando severos impactos en los humedales. Las aguas residuales, basuras de la obra y residuos sólidos aún se vierten en los cuerpos de agua. La invasión todavía ocurre hasta el día de hoy sin que se defina esta situación.

Fotografía 25. Obras en desarrollo y trinchos para detener la sedimentación obsoletos para este tensor



Fuente: Paz, (2016)

Fotografía 26. Obras de Alcantarillado y de vías, aun generando impactos sobre el humedal.



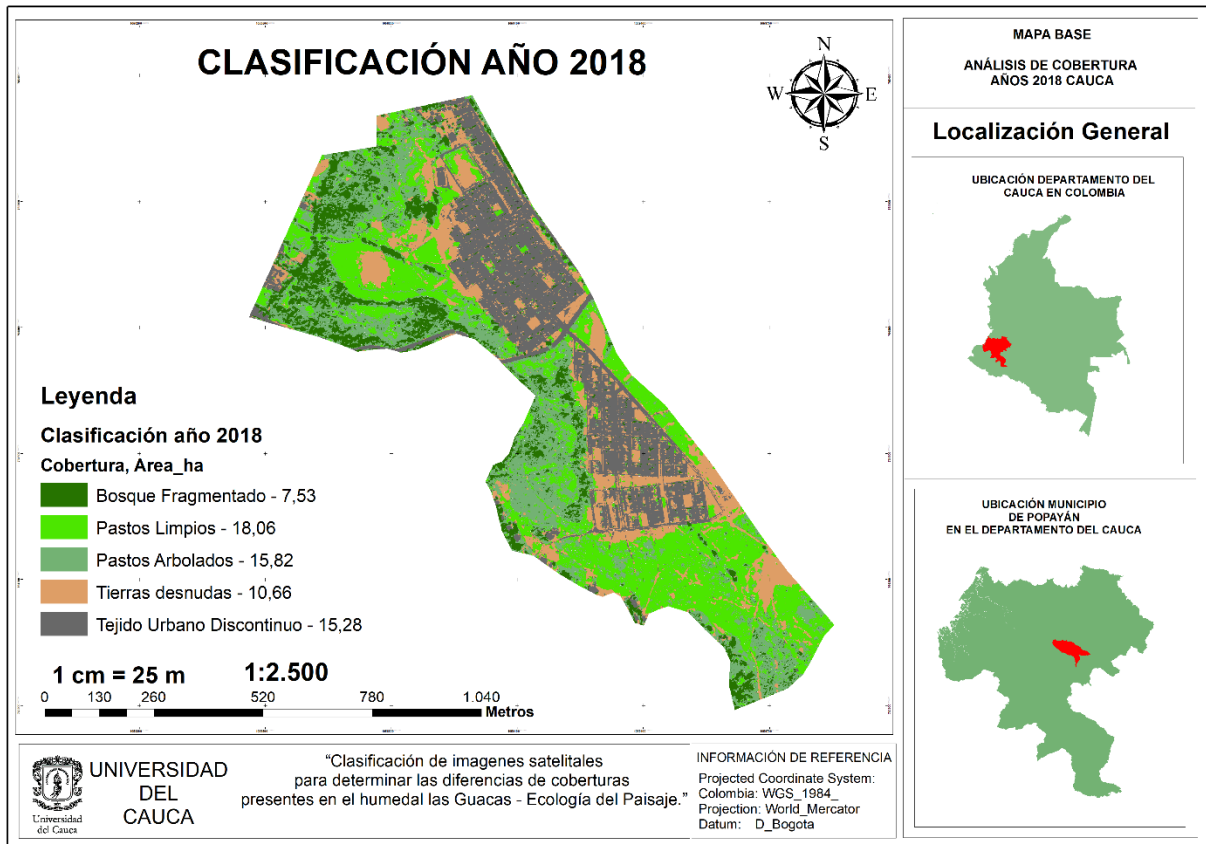
Fuente: Paz, (2016)

Fotografía 27. Alcantarillado pluvial, con conexiones de aguas residuales que contaminan el humedal



Fuente: Paz, (2016)

Mapa 7. Mapa de la clasificación de coberturas del área de estudio para el año 2018



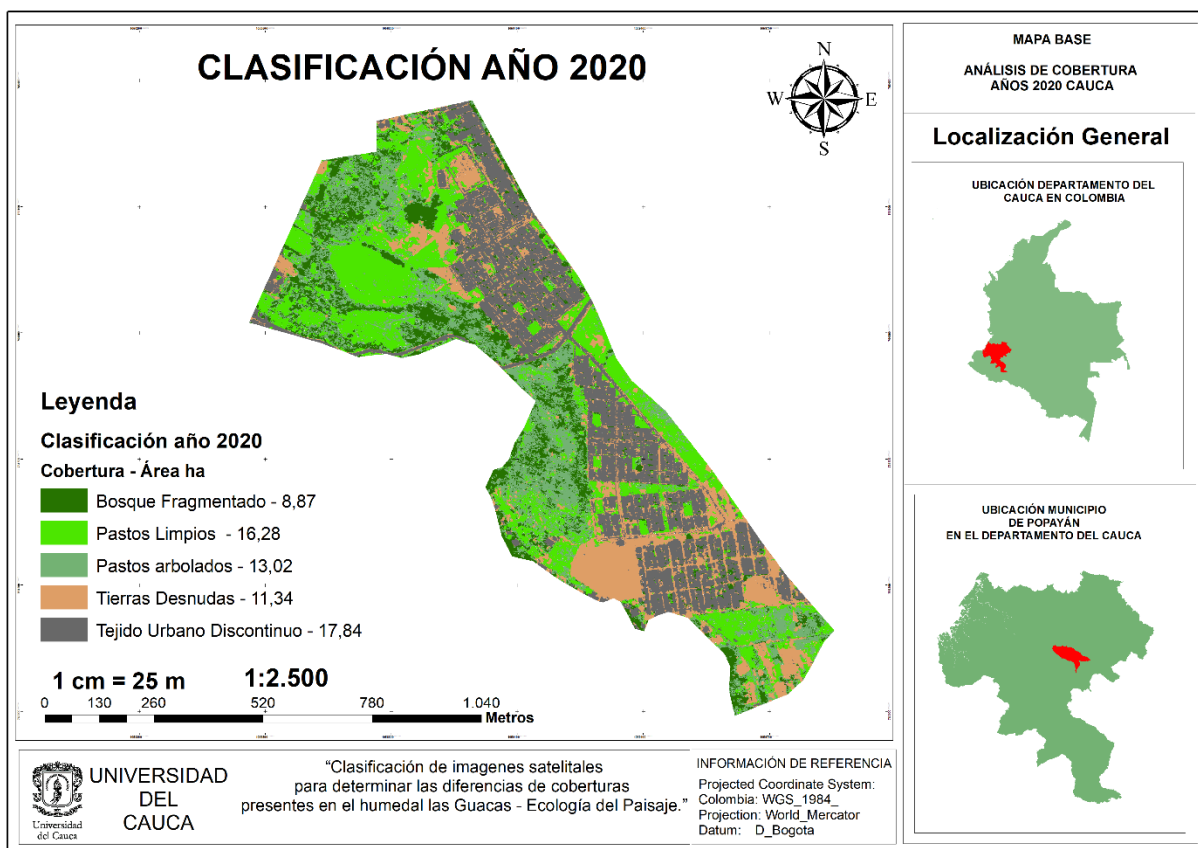
Fuente: Elaboración propia

El mapa 7 muestra el área(ha) y las coberturas identificadas de acuerdo a Corine Land Cover en el análisis multitemporal de la imagen del año 2018, cubre alrededor de 63,77 Has, correspondientes a bosque fragmentado (7,53 ha), pastos arbolados (15,82 ha), pastos limpios (18,06 ha), tierras desnudas (10,66 ha) y tejido urbano discontinuo (15,28 ha). Que en porcentaje corresponde al 11%, 23%, 27%, 16% y 23% respectivamente.

Los problemas para este año en curso aún continúan y se plantea que esto se presenta porque *“a pesar de los diversos escenarios judiciales que establece la ley, la diversa normatividad existente para garantizar constitucionalmente la defensa de los recursos naturales y el derecho a gozar de un ambiente sano, la tramitología, los intereses, la amistad por convicción política de funcionarios en diversas instituciones y los intereses reflejados en las instancias gubernamentales, hacen de estos procesos largos*

escenarios donde sustentado el acervo probatorio establecido y refrendado por la institucionalidad, se prosigue en la duda del daño evidente, palpable y continuo en los ecosistemas, sin que la justicia obre en justicia” (Paz, 2016)

Mapa 8. Mapa de la clasificación de coberturas del área de estudio para el año 2020

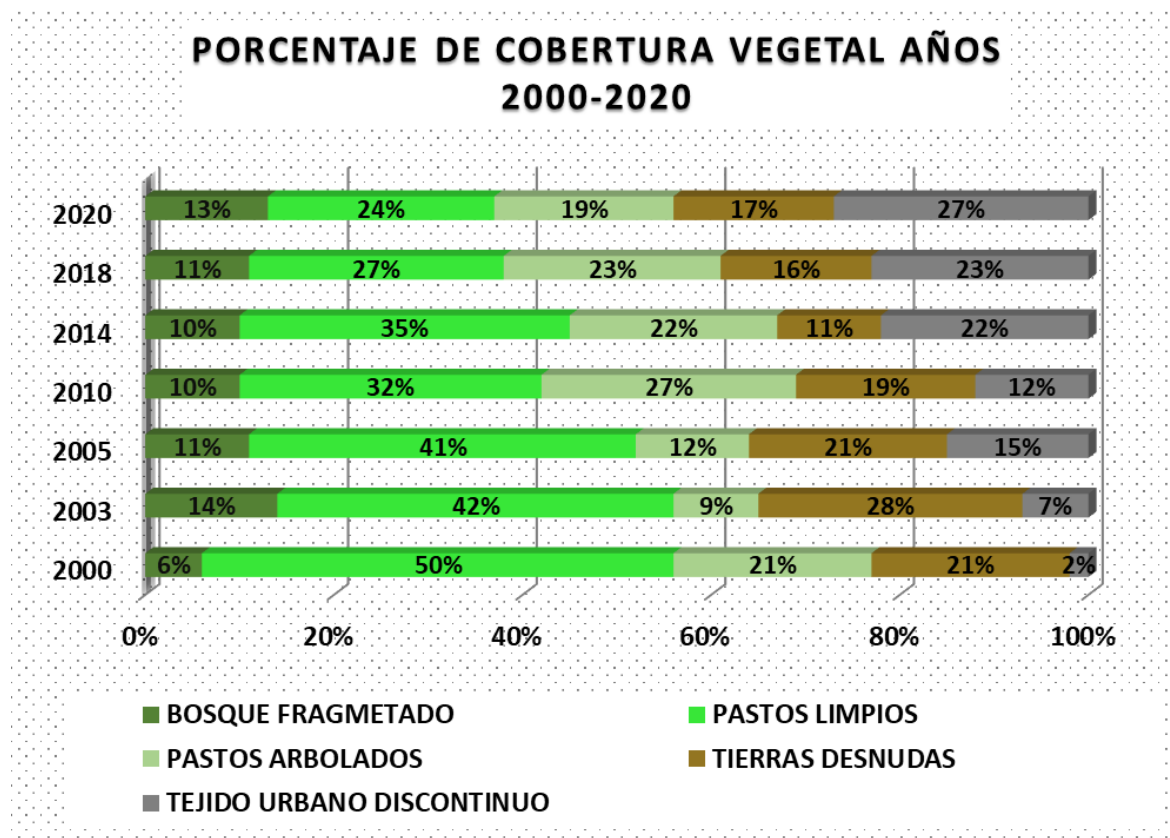


Fuente: Elaboración propia

El mapa 8. muestra el área(ha) y los tipos de coberturas identificadas de acuerdo a Corine Land Cover en el análisis multitemporal de la imagen del año 2020, cubre alrededor de 63,77 ha, correspondientes a bosque fragmentado (8,87 ha), pastos arbolados (13,02 ha), pastos limpios (16,28 ha), tierras desnudas (11,34 ha) y tejido urbano discontinuo (17,84 ha). Que en porcentaje corresponde al 13%, 19%, 24%, 17% y 27% respectivamente.

Aquí una breve descripción después de ver las fotos anteriores, en el año 2000 la zona de Humedal las Guacas en el municipio de Popayán, los pastos cubren aproximadamente el 71% del área total, entre pastos limpios y pastos arbolados; En comparación con el porcentaje de Tierras desnudas y tejido urbano discontinuo con un 21% y 2%, respectivamente. Finalmente, el 6% del bosque fragmentado. Para 2020, el área boscosa tuvo un aumento gradual, representando el 13% del área total, con una disminución gradual de la cobertura de pastos limpios (24%) y el área arbórea (19%), momento en el cual la cobertura cubría alrededor del 43%. Después de 26 años, el tejido urbano discontinuo, aumentó el 25% (Ilustración 7)

Ilustración 7. Histograma de frecuencia de porcentajes de tipos de cobertura para los años 2000, 2003, 2005, 2010, 2014, 2018 y 2020 en el área



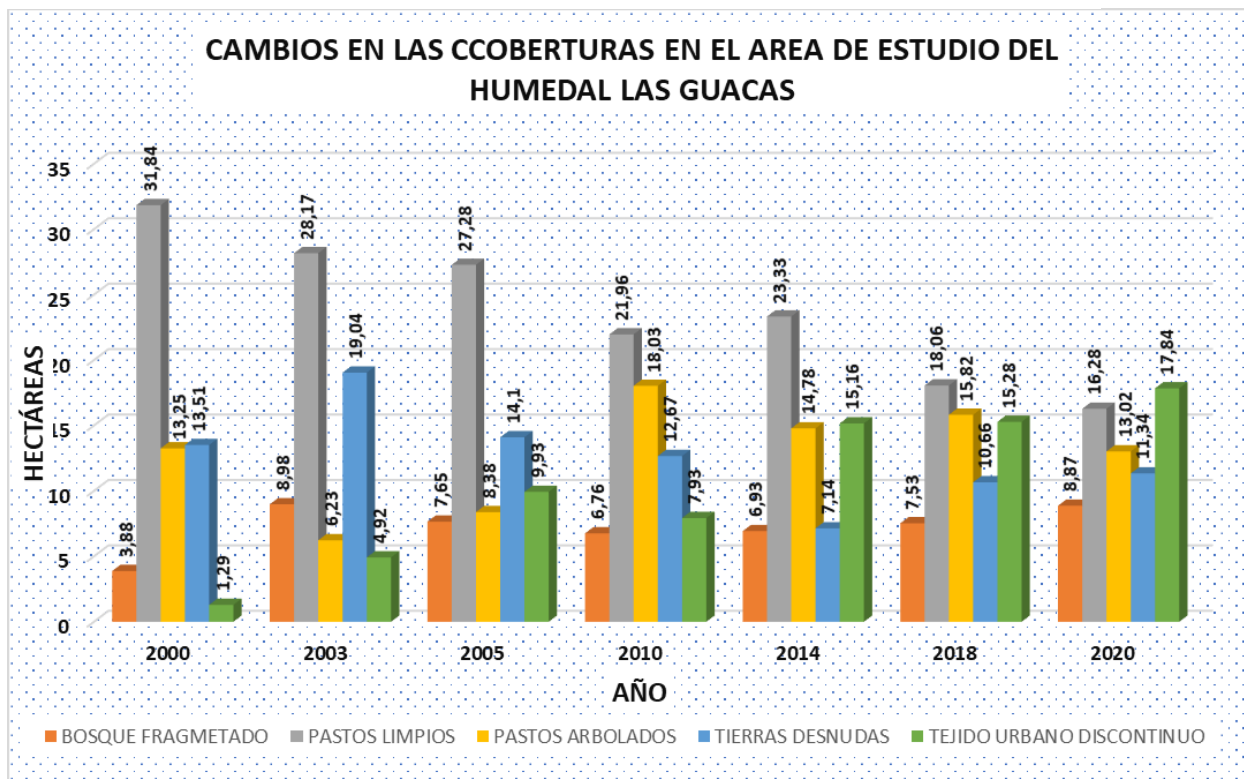
Fuente: Elaboración propia

Este aumento está en parte relacionado con las actividades humanas en el marco del llamado “desarrollo”, que está representado principalmente por la urbanización y la contaminación provocada por tensiones de la construcción de la vivienda, carreteras, cambios de uso de suelo y procesos con diferentes intereses políticos o personales de las instituciones. Todo esto se da a pesar de una amplia normativa ambiental y marcos institucionales que deberían asegurar, con base en los principios de gestión ambiental establecidos por la Carta Magna el mantenimiento de la conservación de estos ecosistemas estratégicos y de un ambiente sano para las comunidades.

Cabe destacar aquí que la reducción o modificación de pastos arbolados, pastos limpios, bosque fragmentado y pérdida total del espejo de agua pueden ser el resultado de procesos descoordinados, asincrónicos y errados del desarrollo de planes no correspondientes con las condiciones ambientales donde se ejecutan actividades de construcción, alcantarillado, etc. hecho durante este período. Los cambios como los espejos de agua, aunque no son visibles en la imagen debido a la densidad de píxeles y la cantidad de bandas en la imagen, no permiten ver esta cobertura. Sin embargo, se pueden ver de forma clara en las fotografías y otra cosa que se observa muy claro en detalle en las fotos estudiadas es el aumento de la superficie urbana, que aumentó un 25% en el año 2020. Eso equivale a unas 67,35 hectáreas.

Para la cobertura de suelos desnudos se identificó un fenómeno decreciente con respecto al año 2000, fenómeno provocado por el crecimiento intermitente del tejido urbano, la apertura de alcantarillado, energía, cultivos, etc., lo que equivale a un 4% para el año 2020, por lo que existe un impacto negativo irreversible en la dinámica y sus factores, que es importante mencionar a causa de irregularidades e inconsistencias que atentan con lo que establecido por la normatividad, la función pública institucional, interpretación y procedimientos de los funcionarios públicos en el marco de las llamadas instituciones independientes lo que en definitiva conduce a la pérdida total del espejo de agua y así mucha de su fauna.

Ilustración 8. Área de los tipos de cobertura clasificados en el área de estudio



Fuente: Elaboración propia

La vegetación identificada por Corine Land Cover en el análisis multitemporal de la imagen de 2000 cubre unas 63,77 hectáreas, correspondientes a bosque fragmentado (3,88 ha), pastizales arbustivos (13,25 ha), pastos limpios (31,84 ha) y suelos (13,51 ha) y trama urbana irregular (1,29). El incremento se presentó en 8,87 ha de bosque fragmentado y 17,84 Ha de tejido urbano discontinuo, mientras que disminuyó en pastizal limpio a 16,28 ha, pasto arbóreo a 13,02 ha y tierras desnudas 11,34 Has (ver tabla 2).

Tabla 3. Cambios en las coberturas del suelo 2000 y 2020

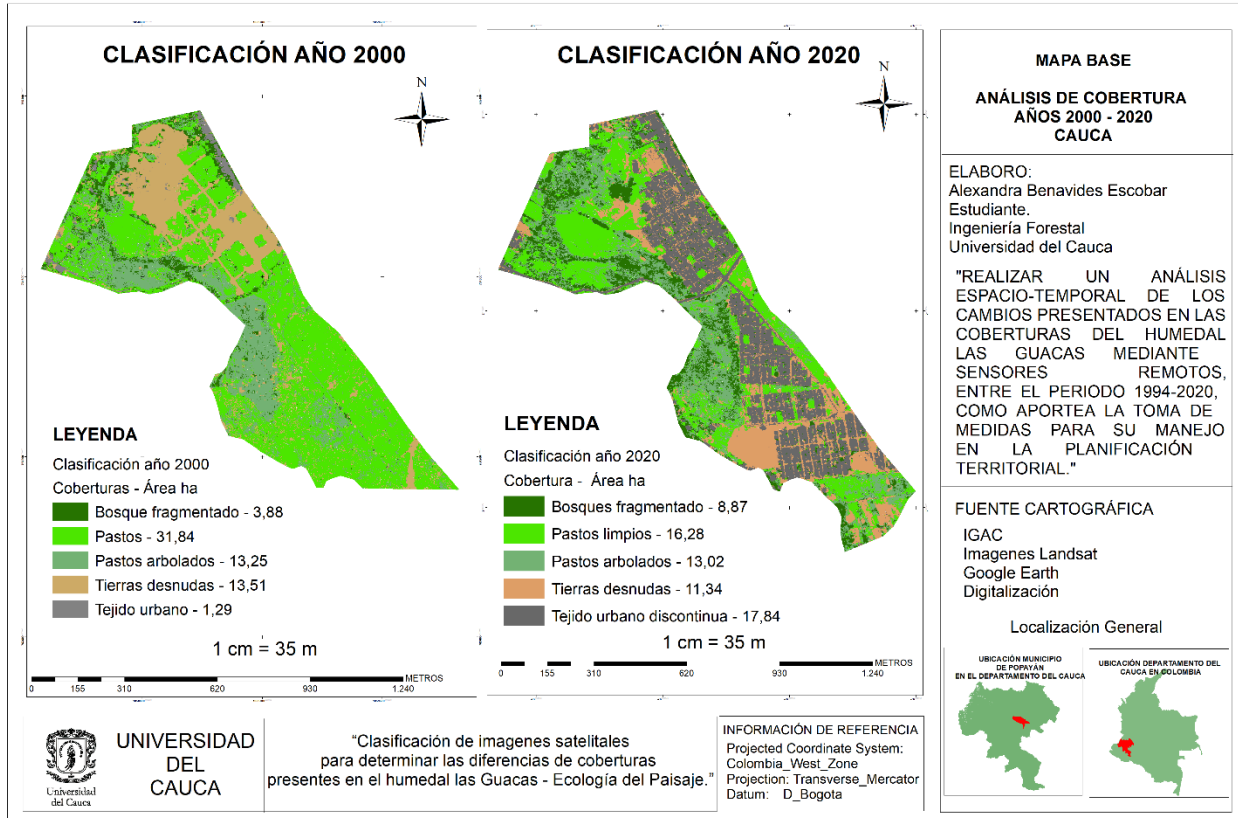
COBERTURAS	AÑO		DIFERENCIA	
	2000	2020	Disminuyó	Aumentó
Bosque fragmentado	3,88	8,87		4,99
Pastos arbolados	31,84	16,28	15,56	
Pastos limpios	13,25	13,02	0,23	
Tierras desnudas	13,51	11,34	2,17	
Tejido urbano discontinuo	1,29	17,84		16,55

Fuente: Elaboración propia

El análisis muestra que el aumento de la superficie de las clases correspondientes a cobertura vegetal (bosque fragmentado y tejido urbano discontinuo), se produce por la formación, por medios naturales o antrópicos, de pequeños relictos o fragmentos de vegetación arbórea que adquieren un valor importante con relación a la función de conectividad que presta el ecosistema.

También es posible identificar cambios en la cobertura identificados como pastos limpios y tierras desnudas, que, si bien se conservan desde el año 2000, han perdido una pequeña parte de su área inicial. Áreas importantes que se deben conservar y recuperar por las cualidades positivas de los ecosistemas a través de una planificación adecuada, con base en la conservación que implique el uso sostenible de dicho ecosistema.

Mapa 9. Cobertura vegetal del área de estudio para el periodo que comprende los años 2000-2020



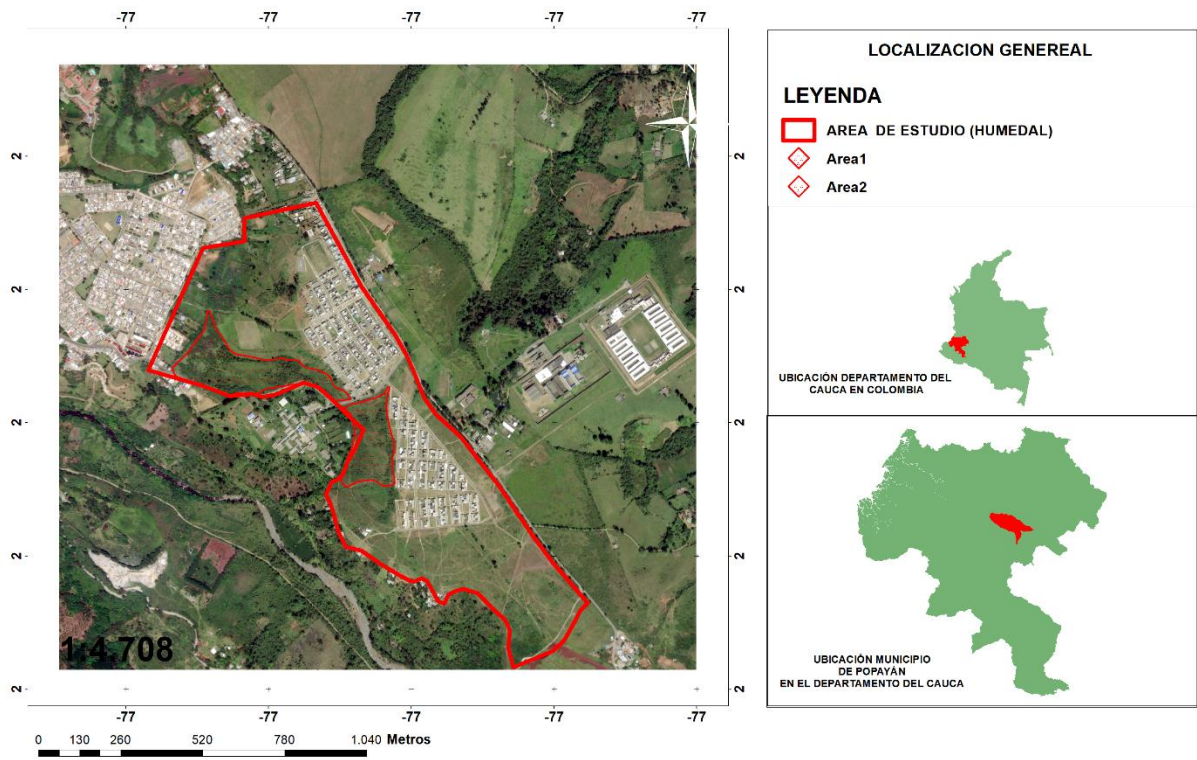
Fuente: Elaboración propia

Al observar los resultados en el mapa 9, podemos concluir que un ligero aumento de la cobertura forestal está relacionado con la actividad de reforestación, rehabilitación y restauración, que ha sido una lucha constante por parte de los defensores de los humedales, un proceso de gestión en defensa del humedal Las Guacas. Sin embargo, existe una disminución en la superficie de pastos limpios, pastos arbolados y bosque fragmentado, lo que se asocia al crecimiento urbano, ya que se tiene en cuenta el norte del municipio de Popayán, este es el sector más grande e importante y el núcleo del crecimiento urbano.

El análisis muestra que se pueden observar mayores cambios en las áreas correspondientes a los límites del área debido a la mala ejecución de las operaciones en el proceso de construcción urbana y debido a la negligencia de los trabajadores de la construcción. Funcionarios de varias instituciones los cuales dejan ver las falencias jurídico institucionales en términos de reglamentación, planificación adecuada, desconocimiento, falta de conciencia y de pertenencia para evitar el deterioro de estos ecosistemas, puesto que existe una diversidad de normas ambientales, las cuales están objetivamente bien definidas, pero tienen debilidad en las funciones y responsabilidades de las instituciones que las deberían implementar.

Para cumplir finalmente el último objetivo se identificó el área que la Corporación Autónoma Regional de Cauca había definido como humedal (ver mapa 10) el cual se encuentra marcado como área 1 y área 2 porque es un área que puede aun protegerse para no ser invadida por el rápido crecimiento urbanístico en la zona debido a ser declarado como humedal y talvez en el futuro hacer un buen trabajo que se pueda realizar de la mano con las entidades que tienen los diferentes roles y funciones en lo que al humedal respecta y de esa manera garantizar el diseño, la ejecución, la ampliación y los recursos para las obras requeridas entorno a la recuperación, conservación y rehabilitación del ecosistema

Mapa 10. Localización del área 1 y área 2 para futuras restauraciones del humedal



Fuente: Elaboración propia

7 CONCLUSIÓN

- De acuerdo con el análisis multitemporal de los humedales Las Guacas, se ha identificado que las principales causas del cambio de uso y cobertura del suelo están influenciadas por procesos de planificación descoordinados, asincrónicos y errados del desarrollo de planes que no corresponde a las condiciones ambientales en las que se está realizando por entidades que no ejercen bien sus roles y funciones.
- La investigación describe un área de estudio designada durante los últimos 26 años para el "desarrollo" de actividades que han ocupado una porción significativa de la tierra que afectó el ecosistema de humedal. Estas actividades han cambiado radicalmente el uso del suelo, generando una reducción severa de sus coberturas y por ende la pérdida más significativa se ve reflejada en la actualidad en la inexistencia del espejo de agua que acompañaba años atrás este ecosistema.
- Las funciones ecológicas del agua para la conservación de los ecosistemas, hábitats para fauna silvestre, la recreación de los humedales y el turismo se han visto afectadas y la recuperación natural se ha vuelto irreversible. Además, algunos productos obtenidos de los humedales como frutas, árboles, animales, etc. han disminuido o desaparecido porque dependen del equilibrio entre los factores ambientales, sus propiedades, ciclos y funciones.
- El mayor tensor que desencadenó la pérdida total del espejo de agua fue el proyecto de alcantarillado del proyecto de vivienda Ciudad Futuro Las Guacas, el cual realizó las obras de acuerdo a las conveniencias del mismo alterando las condiciones naturales del humedal.
- La teledetección y los SIG son herramientas de gran ayuda para la organización eficiente de la cartografía y caracterización de ecosistemas que permiten observar los daños causados en esta zona de humedal

8 RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con un monitoreo y tomar acciones en el humedal las Guacas, para ayudar en la intervención descontrolada que presenta, definiendo parámetros y metodologías que permitan mitigar los impactos ambientales que este importante ecosistema está presentando.
- Es importante a través de la gestión seguir conservando el espacio definido por la acción popular de las 25 ha que se observa en el mapa 10 (área 1 y área 2), las cuales se deben mantener como zona de protección. La recomendación se menciona en primer lugar por la invasión entorno a la zona de humedal y, además, porque se convierte en una debilidad debido a que la Gobernación del Cauca al ser también dueña promueve proyectos de vivienda y no muestran claridad en su posición respecto al humedal como zona protegida, pasando por alto la acción popular y las investigaciones ahí realizadas.
- Se recomienda continuar con un monitoreo y tomar acciones en el humedal las Guacas, para ayudar en la intervención descontrolada que presenta, definiendo parámetros y metodologías que permitan mitigar los impactos ambientales que este importante ecosistema está presentando producto de procesos de desarrollo descontextualizados por proyectos urbanísticos que se vienen desarrollando en áreas aledañas al ecosistema y causan una situación conflictiva al humedal
- Algo de vital importancia para la conservación, recuperación, restauración y rehabilitación del humedal las Guacas es tomar medidas para poder mitigar los impactos negativos que se observaron en el periodo de 26 años. Teniendo en cuenta una línea trazada de diferentes estudios de investigación para continuar con un monitoreo y no permitir avanzar con los daños secundarios que deja el crecimiento del tejido urbano discontinuo.

- Importante que con la acción popular aún vigente en el año 2022 y teniendo en cuenta esta investigación en el que se presentan mapas temáticos productos del procesamiento y análisis de información espacial, de registros fotográficos que evidencian los cambios a través del tiempo del ecosistema humedal y de tablas y gráficos con información importante sobre las tendencias y variaciones en cuanto a coberturas y usos de suelo, realizar la puesta en marcha de propuestas encaminadas a reforzar el conocimiento de estos ecosistemas y a proponer proyectos y acciones para su manejo y conservación.
- Darle visibilidad a estos trabajos con el fin de que las entidades que cumplen sus roles y funciones en estos ecosistemas puedan utilizar estos trabajos como instrumento para realizar un monitoreo a partir de la identificación de las fallas que se cometen al no acatar normas y leyes ambientales que protegen estos ecosistemas y permitir desarrollar de manera mas adecuada los proyectos urbanísticos.

9 CITAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHICANOY, Jerson; ROBLES, Rosario Rojas; GÓMEZ, Jorge Sánchez. Análisis y proyección de las coberturas vegetales mediante el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica en la localidad de Suba, Bogotá-Colombia. *Gestión y Ambiente*, 2018, vol. 21, no 1, p. 41-58.

ACUÑA CARO, Camilo Andrés. Identificación de áreas prioritarias de conservación enfocadas hacia la conectividad estructural del corredor Encenillo (municipios de la Calera, Guasca, Sopo, Sesquilé, Guatavita), Cundinamarca. 2010.

ARANGO CARVAJAL, Román Adolfo; CHILITO PIAMBA, Juan Carlos; CIFUENTES SANABRIA, Alejandra. Análisis multitemporal de la expansión urbana de la ciudad de Popayán, Cauca entre los años 1989, 2002 y 2014. 2016.

BERNAL VERA, Héctor Fabio; MONTES GIRALDO, Patricia Elena. Análisis multitemporal de la dinámica en el cambio del uso de la tierra en Manizales durante el período 1969-2015. 2016.

CAPOTE MOSQUERA, Richard Mauricio. Análisis multitemporal por medio de clasificación supervisada de imágenes landsat del parque entre nubes de la ciudad de Bogotá para identificar corredores ecológicos. 2016.

CASTILLO, Diana Consuelo, et al. Caracterización biológica y socioeconómica del humedal universidad, municipio de Popayán, Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 2013, vol. 11, no 1, p. 174-183.

CHACÓN, Julieth. análisis del impacto ecosistémico en la zona de influencia de la microcuenca lame y humedal Universidad del Cauca, generado en el proceso de construcción de la Ciudadela las Guacas, (municipio de Popayán, Cauca). Popayán. 2017. 81 pág. Trabajo de grado en modalidad de investigación. Universidad de Manizales. Facultad De Ciencias Contables Económicas Y Administrativas Maestría En Desarrollo Sostenible Y Medio Ambiente.

CORREA VALENCIA, Jorge Andrés. Análisis multitemporal de coberturas y usos del suelo: transformaciones ambientales a través del tiempo en Armenia, Quindío. 2018.

DE GROOT, Rudolf, et al. Valoración de humedales: Lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales. Cuaderno Técnico CBD, 2007.

DENIS, Paredes; STEPHANIA, Danisa. Determinación de amenazas en humedales urbanos: Estudio de tres humedales de Valdivia, Chile. 2010. Tesis Doctoral. Universidad Austral de Chile.

DOWNLOAD FREE SAS Planet All versions 2017-2022 [Anónimo]. GIS English [página web]. [Consultado el 14, enero, 2022]. Disponible en Internet: <<https://gisenglish.geojamal.com/2018/06/download-sas-planet-nightly-all.html>>.

FONSECA, John Jairo; GÓMEZ, Silvia María. Análisis multitemporal mediante imágenes Landsat caso de estudio: cambio de área laderas de la Ciénaga de Tumaradó Parque Natural Los Katíos. 2013.

GARDNER, Royal C.; FINLAYSON, C. Global wetland outlook: state of the World's wetlands and their services to people. En Ramsar convention secretariat. 2018. p. 2020-5.

GONZÁLEZ BORRERO, Luis Hernán; PATRICIA, Romero Rodríguez Ángela. Análisis multitemporal de los cambios de la cobertura de la tierra e incidencia del cultivo de palma en el territorio del municipio de Villanueva Casanare. 2013.

GOOGLE EARTH Engine [Anónimo]. Google Earth Engine [página web]. [Consultado el 6 de octubre, 2020]. Disponible en Internet: <<https://earthengine.google.com/>>.

GUILLÉN, Carlos; MURUGAN, Vel; DÁVILA, Mirian. Aplicación de teledetección y SIG para el levantamiento cartográfico de los suelos de la cuenca Solani, India. Revista Geográfica Venezolana, 2015, vol. 56, no 2, p. 185-204.

HERNÁNDEZ, Olga. análisis multitemporal de la cobertura vegetal del municipio del distrito central años 1987 y 2006. online]. Oct, 2012.

IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Leyenda nacional de coberturas de la tierra: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1: 100.000. 2010.

INTRODUCCIÓN A SIG | ArcGIS Resource Center [Anónimo]. ArcGIS Resource Center [página web]. [Consultado el 23, junio, 2020]. Disponible en Internet: <<https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm>>.

JIMÉNEZ-MORENO, María Josefa, et al. Comparación de métodos espaciales para detectar cambios en el uso del suelo urbano. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 2011, vol. 17, no 3, p. 389-406.

KUSCH, Alejandro; CÁRCAMO, Jaime; GÓMEZ, Humberto. Aves acuáticas en el humedal urbano de Tres Puentes, Punta Arenas (53 S), Chile austral. En Anales del Instituto de la Patagonia. Universidad de Magallanes, 2008. p. (36)2 45-51.

LAMBIN, Eric F. Estrategia de implementación del cambio de cobertura y uso del suelo (LUCC). Un proyecto central del programa internacional geosfera-biosfera y el programa internacional de dimensiones humanas sobre el cambio ambiental global, 1999.

LILLESAND, T.; KIEFER, R. & J. CHIPMAN. 2007. Remote Sensing and Image Interpretation. Wiley India Edition. New Delhi-India 763 p.

LIU, Xianbin, et al. Aplicación de datos de teledetección satelital en una investigación de terreno a lo largo de una autopista. Revista de ciencia de datos, 2007, vol. 6, pág. S548-S552.

MARTÍNEZ, Liseth, et al. Analisis de la pérdida en la cobertura vegetal a partir de un estudio multitemporal 2007-2013 parque nacional natural alto fragua indi wasi. 2016.

MCGARIGAL, Kevin; CUSHMAN, Samuel A. Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects. *Ecological applications*, 2002, vol. 12, no 2, p. 335-345.

MINAMBIENTE. (1997). LEY 357 DE 1997. ACUATICAS, COMO HABITAT DE AVES. Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas.

MITSCH, William., & GOSSELINK, James. *Wetlands*. (J. Wiley & H. Sons, Eds.) (5a edición). Canada: Published simultancously in Canadá (2015). páginas 747. Recuperado de https://archive.org/details/Wetlands_5th_Edition_by_William_J._Mitsch_James_G._Gosselink/page/n7/mode/2up

MORENO, R., VILLOTA, N., GUTIERREZ, E., MARÍN, J., & ZUÑIGA, J. Protocolo para Seguimiento y Control a los Aprovechamientos Forestales en Bosque Natural. 2011. Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia. Disponible en Internet: http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Gobernanza_forestal_2/3._PROTOCOLO_1_APROVECHAMIENTO.pdf

MUÑOZ, Diego Andrés; MONTENEGRO, Mike Rodríguez; HERNÁNDEZ, Mario Romero. 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 de Ciencias Agrícolas*, 2009, vol. 26, no 1, p. 11-24.

OLAYA, Víctor. *Sistemas de información geográfica. Un libro libre de Víctor Olaya*. 2014. Disponible en Internet: https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf p. 594, 537-539

ORTIZ CORTÉS, William Enrique. *Dinámica de un humedal urbano cambios históricos en sus coberturas y cambios recientes en la comunidad de aves (Humedal Córdoba, Bogotá)*. 2014.

OUTREACH | Landsat Science [Anónimo]. *Landsat Science | A joint NASA/USGS Earth observation program*. [página web]. [Consultado el 13, junio, 2022]. Disponible en Internet: [<https://landsat.gsfc.nasa.gov/outreach/>](https://landsat.gsfc.nasa.gov/outreach/).

PAÉZ GONZÁLEZ, Blanca Lucila, et al. Análisis Multitemporal del Retroceso Glaciar en la Sierra Nevada de Santa Marta-Colombia para los Períodos 1986, 1996, 2007 y 2014. 2016.

PAZ, Juan. praxis en gestión ambiental. una aventura participativa en busca de justicia en defensa del humedal Universidad del Cauca. Popayán, 2016, 80 pág. Documento final como requisito del año sabático. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agrarias.

PEGUERO, C. Sensores remotos y aplicaciones en teledetección. Geodesia y gestión de recursos naturales y patrimonio natural - España.2016. Disponible en Internet: http://www.academia.edu/23743025/SENSORES_REMOTOS_Y_APLICACIONES_EN_TELEDETECCI%C3%93N_GEODESIA_Y_GESTI%C3%93N_DE_RECURSOS_NATURALES_Y_PATRIMONIO_NATURAL

PEÑA SUÁREZ, Jeimy Carolina. Análisis Multitemporal del Retroceso Glaciar de la Sierra Nevada del Cocuy Ubicada en los Departamentos de Boyacá y Arauca entre los años 1992, 2003 y 2014. 2015.

REBOLLO, M. Estudio multitemporal para la determinación de cambios en el uso del suelo en el complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha para el periodo 1992–2012. Universidad Militar Nueva Granada, 2012, vol. 53, no 9, p. 1689-1699.

RODRÍGUEZ TORRES, Laura Daniela. Análisis multitemporal utilizando imágenes landsat para la determinación de la pérdida de la capacidad productiva en la cuenca media del río magdalena.

ROJAS-MARÍN, Carlos Andrés; PÉREZ-GÓMEZ, Uriel; FERNÁNDEZ-MÉNDEZ, Fernando. Dinámica espaciotemporal de los procesos de desertificación y revegetalización natural en el enclave seco de La Tatacoa, Colombia. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 2019, vol. 28, no 1, p. 134-151.

SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, Natalia. Cambios en la cobertura vegetal y en el espejo de agua asociados a la influencia antrópica en el Humedal Toqui-Toqui, Tolima, Colombia. 2019.

SAS PLANET: descarga imágenes de Google, Bing, etc - MappingGIS [Anónimo]. MappingGIS [página web]. [Consultado el 14, enero, 2022]. Disponible en Internet: <<https://mappinggis.com/2014/09/como-descargar-imagenes-de-google-bing-etc/>>.

SMITH GUERRA, Pamela; ROMERO ARAVENA, Hugo. Efectos del crecimiento urbano del Área Metropolitana de Concepción sobre los humedales de Rocuant-Andalién, Los Batros y Lenga. Revista de Geografía Norte Grande, 2009, no 43, p. 43.

WHAT IS GIS? | Geographic Information System Mapping Technology [Anónimo]. GIS Mapping Software, Location Intelligence & Spatial Analytics | Esri [página web]. [Consultado el 4, octubre, 2020]. Disponible en Internet: <<https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>>.

Imagen 1. Captura de la imagen correspondiente al año 2000



Imagen 2.. Captura de la imagen correspondiente al año 2003



Imagen 3. Captura de la imagen correspondiente al año 2005



Imagen 4. Captura de la imagen correspondiente al año 2010



Imagen 5. Captura de la imagen correspondiente al año 2014



Imagen 6. Captura de la imagen correspondiente al año 2018



Imagen 7. Captura de la imagen correspondiente al año 2020



