

**EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE COBERTURAS VEGETALES EN LA  
LAGUNA DE SONSO**

**LUIS FELIPE VERGARA ZORRILLA**

**UNIVERSIDAD ICESI  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES  
BIOLOGÍA  
CALI, VALLE DEL CAUCA**

**2017**

**EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE COBERTURAS VEGETALES EN LA  
LAGUNA DE SONSO**

**LUIS FELIPE VERGARA ZORRILLA**

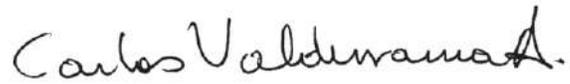
**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE PREGRADO EN  
BIOLOGÍA**

**Tutor:  
CARLOS VALDERRAMA, Ph.D.**

**Departamento de Ciencias Biológicas  
Facultad de Ciencias Naturales  
Universidad Icesi**

**UNIVERSIDAD ICESI  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES  
BIOLOGÍA  
CALI, VALLE DEL CAUCA  
2017**

**Aprobado por:**



---

**Carlos Valderrama A., PhD**  
**Director del Proyecto**



---

**Gustavo Londoño, PhD**  
**Evaluador**

**Santiago de Cali, 1 de diciembre del 2017**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Javier Vergara mi padre, Javier Alejandro Vergara Z mi hermano y Trinidad Zorrilla mi madre por ser el principal apoyo en el desarrollo no solo de este proyecto, sino de mi formación académica y personal.

A la empresa Circle por la ayuda brindada en la realización de los fotomosaicos de las Chatas y la Isabella.

A la Corporación Autónoma Regional de Valle del Cauca (CVC) quienes aportaron los insumos para el desarrollo de este proyecto y significaron un apoyo en las capacitaciones y enseñanzas del manejo de los softwares.

Al profesor Carlos Valderrama quien fue el soporte técnico y la mano guía para el desarrollo del proyecto. Muchas gracias por atender cada una de mis inquietudes, revisar mis avances y ayudarme con la gestión de la información e insumos.

A Luis Felipe Estrada y María Fernanda Restrepo por ayudarme en el desarrollo del proyecto con ideas, motivación y sobretodo confianza y buena energía. A Daniel Salazar, Sebastián Giraldo y Juan Carlos Cárdenas por su amistad durante toda la carrera.

A todos los profesores de la universidad Icesi por haber influido en mi camino académico aportando conocimiento y sirviendo como ejemplo a seguir en mi futuro.

Al profesor Gustavo Londoño y Camila Pizano por el apoyo que han generado en la universidad Icesi a todos los estudiantes que quieren empaparse más del mundo de la biología y las oportunidades que les han dado.

A la universidad Icesi por ser la institución encargada de formarme y abrirme diversos caminos hacia un futuro. Por permitirme conocer grandes personas y poder ser parte de una institución reconocida.

## Contenido

1	INTRODUCCIÓN .....	9
2	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	12
2.1	Planteamiento del problema de investigación .....	12
2.2	Marco teórico .....	13
2.2.1	Bosque seco tropical inundable .....	13
2.2.2	Humedales .....	14
2.2.3	Coberturas de la tierra .....	14
2.2.4	Cobertura vegetal .....	14
2.2.5	Corine Land Cover (CLC) .....	15
2.2.6	Sistemas de información geográfica (SIG) .....	16
2.2.7	Análisis multitemporal de coberturas de la tierra .....	16
2.2.8	Operaciones de mapas .....	16
2.2.9	Utilización de drones (UAV) en SIG .....	16
2.3	OBJETIVOS.....	18
2.3.1	OBJETIVO GENERAL.....	18
2.3.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	18
2.4	METODOLOGÍA .....	19
2.4.1	Área de estudio .....	19
2.4.2	Insumos.....	22
2.4.3	Clasificación de las coberturas y uso del suelo .....	26
2.4.4	Control de calidad.....	30
2.4.5	Trabajo de campo .....	30
2.4.6	Análisis multitemporal.....	31
2.4.7	Estandarización de los datos.....	31
2.4.8	Matrices de transición.....	31
2.4.9	Intersecar .....	33

2.4.10	Álgebra de mapas .....	34
2.4.11	Construcción de ortofotomosaicos por medio de la utilización de drones	34
2.4.12	Delimitación del área de trabajo .....	34
2.4.13	Planificación del vuelo.....	35
2.4.14	Procesamiento digital de las fotografías.....	36
2.5	RESULTADOS.....	37
2.5.1	Modelamiento de polígonos.....	37
2.5.2	Análisis multitemporal 1986-1998.....	42
2.5.3	Análisis multitemporal 1998-2016.....	47
2.5.4	Análisis multitemporal 1986-2016.....	52
2.5.5	Fotomosaicos realizados con la utilización de tecnología UAV (drones)	56
2.6	Discusión .....	59
2.7	Utilización de los drones como herramienta de fotogrametría.....	64
2.8	CONCLUSIONES .....	66
2.9	RECOMENDACIONES.....	67
3	BIBLIOGRAFÍA .....	68

## RESUMEN DEL PROYECTO

La laguna de Sonso fue declarada como un área de reserva natural en 1978, debido a que alberga una alta biodiversidad y funciona como zona de paso o transición de muchas especies migratorias, específicamente de aves. Se encuentra clasificada dentro del ecosistema estratégico bosque seco tropical inundable. El 2 de febrero de 2017 fue declarada como sitio RAMSAR, con el objetivo de disminuir los efectos antrópicos generados y reconocer a la Laguna de Sonso como un humedal de importancia internacional.

Las actividades antrópicas han tenido un fuerte impacto en el bosque seco tropical inundable y su biodiversidad, debido a la fuerte pérdida de heterogeneidad del paisaje y la fragmentación del hábitat. Tras el surgimiento de la agricultura intensiva en 1960 aproximadamente se han venido presentando una serie de conflictos entre la deforestación del bosque y la creación excesiva de cultivos, puesto que la expansión agrícola le ha ido ganando terreno a los bosques y el área de bosque perdida es de gran magnitud y posiblemente irrecuperable en su totalidad.

Debido a los efectos antrópicos y los cambios en las coberturas de la tierra y el uso del suelo que se han venido presentando a través del tiempo, este proyecto tiene como objetivo evaluar los cambios en las coberturas y usos de la tierra en la Laguna de Sonso en una ventana de tiempo de 30 años; utilizando la metodología de Corine Land Cover adaptada para Colombia para clasificar 2695.02 ha referentes a todo el espejo de agua y sus zonas más aledañas, utilizando fotomosaicos aéreos de los años 1986, 1998 y 2016.

Se observó que en los últimos 30 años las coberturas de bosques aumentaron solo en un 4%, mientras que los cultivos aumentaron significativamente en un 30%. Específicamente se observó que el 24% de las coberturas totales (bosque, cultivos, agua y pastos) cambiaron desde 1986 hasta el 2016 y el 76%, se mantuvo constante a través de este periodo de tiempo, mostrándonos de esta forma que el índice de transformación del paisaje es bastante alto en un periodo relativamente corto de 30 años.

## SUMMARY

The Sonso lagoon was declared a natural reserve area in 1978, because it harbors a high biodiversity and works as a passage or transition zone for many migratory species, specifically birds. It is classified within the strategic ecosystem tropical dry forest flood. On February 2 of 2017, it was declared a RAMSAR site, with the objective of reducing the anthropogenic effects generated and recognizing the Sonso Lagoon as a wetland of international importance.

The anthropic activities have had a strong impact on the tropical dry forest and its biodiversity, due to the strong loss of landscape heterogeneity and habitat fragmentation. After the emergence of intensive agriculture, a series of conflicts have arisen between the deforestation of the forest and the excessive creation of crops, since agricultural expansion has been gaining ground in the forests and the area of lost forest is of great magnitude and possibly unrecoverable in its entirety.

Due to the anthropic effects and the changes in land cover and land use that have been presented over time, this project aims to evaluate the changes in land cover and land use in the Sonso Lagoon in a time window of 30 years; using the Corine Land Cover methodology adapted for Colombia to classify 2695.02 ha, using aerial photomosaics of the years 1986, 1998 and 2016.

It was found that the coverage of forests and crops increased significantly within the time window of 30 years, however, the areas referring to forests reach only values of 4%, while on the contrary the coverage of permanent crops reaches values of up to 30% of the total area of study.

As a result, it was obtained that 24% of the coverages changed from 1986 to 2016 and 76% remained the same, showing us in this way how the transformation of the ecosystem has been generated over time.

## 1 INTRODUCCIÓN

Volar ha sido desde épocas muy remotas uno de los sueños más anhelados por la humanidad, junto con la necesidad del hombre por comprender los distintos fenómenos de la naturaleza que se escapan a nuestro rango de visión. Por estas razones una gran parte del desarrollo de las tecnologías han sido encaminadas a sistemas que nos faciliten el entendimiento de los comportamientos de la naturaleza desde una perspectiva panorámica (Chuvienco, 1995).

Dentro del facilitamiento de nuestra interpretación de los múltiples procesos que afectan la tierra se empezaron a generar imágenes espaciales que brindan valiosa información acerca de la composición y uso de los paisajes. En 1859 Gaspar Felix obtiene las primeras imágenes aéreas volando desde un globo aerostático, a partir de este momento el panorama de la tierra cambió y los esfuerzos en los desarrollos tecnológicos fueron orientados a herramientas que permitieran mejorar el conocimiento y control de los recursos naturales, existen en la actualidad muchos ejemplos de estas tecnologías como los radares aerotransportados (Slar), los satélites de la serie ERTS, también conocidos como Landsat (Chuvienco, 1995).

Sin embargo, hoy en día se están utilizando una serie de vehículos no tripulados denominados drones que brindan mayor autonomía y flexibilidad con respecto a los radares y satélites, permitiendo volar aún en días nublados, otro factor importante en favor de los drones es que pueden volar a muy baja altura, lo cual permite obtener imágenes de ultra-alta resolución (1-10 cm/píxel), pueden también utilizar sensores o cámaras con diferentes rangos espectrales que brindan una mayor gama de posibilidades para estudios tanto de agricultura de precisión como para determinar cambios en las coberturas vegetales (Greenwood et al., 2016).

El uso de la tierra y los cambios en la cobertura vegetal muestran información vital sobre los números de hectáreas deforestadas en una ventana de tiempo, la regeneración natural de los bosques y el aprovechamiento de la tierra (Conde & Moreno, 2016). Por ende, es importante analizar cómo estos fenómenos se desarrollan en el tiempo, con el fin de encontrar cuales son los principales factores involucrados y deducir las posibles dinámicas que implican dichos cambios en el territorio colombiano.

No obstante, para la cuantificación, clasificación, caracterización y comparación de estos cambios se han desarrollado una serie de metodologías y programas como lo es CORINE (Coordination of Information on the Enviroment) dirigido por la comisión de la Comunidad Europea en 1990, con el fin de inventariar las coberturas de la tierra de manera estandarizada (Aune-Lundberg & Strand, 2010)

En Colombia el IDEAM propuso la estandarización de las metodologías existentes para el levantamiento de las coberturas de la tierra en dos periodos 2000-2002 y 2010-2012, dando lugar a la creación del proyecto CORINE Land Cover para Colombia, definiendo criterios de clasificación con categorías jerárquicas a partir de información obtenida por imágenes aéreas, satelitales o de radar (IDEAM, IGAC, & CORMAGDALENA, 2008).

En esta investigación se empleará la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia dentro del humedal más grande del Valle del Cauca: la Laguna de Sonso, puesto que al ser la Laguna de Sonso el principal humedal en la planicie aluvial del río Cauca y último ecosistema lagunar de extensión considerable autóctono que existe en el Valle del Cauca, presenta una biodiversidad autóctona de uno de los ecosistemas estratégicos: el Bosque Seco Tropical Inundable (Tobergte & Curtis, 2013).

Debido a las condiciones benévolas del medio geográfico, entre ellas, la fertilidad del suelo, desembocarán en procesos de colonización del territorio, que, aunque inundable, con el desarrollo de nuevas tecnologías, “permitirá su transformación conllevando a cambios de primer orden en la estructura geográfica del territorio” (Londoño, 2008).

“Desapareció un paisaje variado de selvas inundables, madre viejas, selvas de galería, donde reina actualmente la opaca uniformidad de la agricultura industrializada. En el caso de los humedales del valle geográfico, de 15.286 ha, que quedaban en la década de 1950 se estima que hoy solo quedan unas 1800 ha.” (Londoño, 2008).

El desarrollo del sector agroindustrial ha generado un alto impacto en este humedal, junto con los efectos antrópicos como la caza, la deforestación y la construcción de diques que drenan los ríos representan una carga multidimensional en la transformación del paisaje y sus dinámicas naturales (Londoño, 2008).

Ante este panorama la CVC en conjunto con la asociación de usuarios ASOYOTOCO aunaron esfuerzos para crear el programa de manejo de humedales y la construcción de centros de datos para su conservación, con el fin de diseñar estrategias que permitan minimizar el impacto de los efectos antrópicos (CVC, 2007). La historia de la Laguna de Sonso como área protegida empieza en 1978 cuando fue declarada como zona de reserva natural por el consejo directivo de la CVC con casi 1980 ha de zona protegida. En el 2015 2045 hectáreas de la zona fueron homologadas como Distrito Regional de Manejo Integrado. Actualmente la laguna y 26 humedales asociados de los municipios Guacarí, Yotoco, San Pedro y Buga que hacen parte del listado Ramsar de humedales importancia internacional (Bolaños, 2017).

Debido a la importancia del humedal la Laguna de Sonso, se realiza esta investigación y se orienta al empleo de la metodología CORINE Land Cover para clasificar las coberturas vegetales y uso del suelo en un área de 2626 hectáreas alrededor del espejo lagunar, esto con el objetivo de realizar un análisis multitemporal en una ventana de tiempo de 30 años utilizando fotomosaicos de los años 1986, 1998 y 2016. De esta manera se datarán y cuantificarán los cambios en las coberturas y uso del suelo a través del tiempo.

La importancia del estudio de las coberturas y el uso del suelo es que sirven de ayuda para fortalecer la gestión ambiental a partir de la generación de información que apoya a la toma de decisiones orientadas a la planificación y ordenamiento del territorio (IDEAM *et al.*, 2009) Se espera que el estudio de las coberturas y el uso del suelo en este proyecto puedan convertirse en una importante herramienta para la toma de decisiones referentes al ordenamiento ambiental del territorio y al desarrollo sostenible, así como servir de base para la incorporación de criterios ambientales en el conocimiento de la dinámica de ocupación y uso que se presenta en la Laguna de Sonso.

## 2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### 2.1 Planteamiento del problema de investigación

La laguna de Sonso es el humedal más grande del Valle del Cauca con 2045 hectáreas de zona protegida, de las cuales 1300 sirven como zona amortiguadora contra inundaciones, convirtiéndolo en un importante regulador del ambiente (Tobasura, 2006).

Dentro de la fauna y flora característica de la laguna se encuentran 217 especies de árboles, 165 especies de aves, 50 especies de mamíferos, 31 especies de peces y 24 especies de anfibios y reptiles. Que representan una parte importante de la biodiversidad del Valle del Cauca (CVC, 2007).

Pese a la importancia de este humedal, las actividades antrópicas han tenido un fuerte impacto en el ecosistema y en su biodiversidad, gracias a la transformación del paisaje, la fragmentación del hábitat, la introducción de especies exóticas y la sobreexplotación de los recursos. Así como también el efecto indirecto de la expansión agrícola y los cultivos, en general de caña de azúcar (CVC, 2007). De esta manera, la degradación ecosistémica ha llegado más allá del ámbito ambiental, influenciando así objetivos políticos nacionales e internacionales, no solo por la afectación de la biodiversidad sino también por la oferta y calidad de los servicios ecosistémicos (Aguilar & Ramírez, 2015). Por esta razón la corporación regional de Valle de Cauca ha venido desarrollando estrategias de restauración ecológica, (CVC, 2007) con la intención de revertir los efectos degradativos de las actividades humanas. (Meli, 2003). Estos esfuerzos de restauración fueron realizados, mediante la posesión de algunos predios para permitir la regeneración natural dentro de ellos.

Debido a las acciones de la agricultura, la fragmentación del hábitat y la deforestación, se hace necesario cuantificar el porcentaje de bosque que se ha perdido a través del tiempo, así como también es importante datar los cambios en el uso del suelo y sus variaciones. Por lo cual este proyecto aporta en la clasificación de las coberturas y el uso del suelo para el humedal de la Laguna de Sonso cubriendo una zona de 2626 hectáreas. En donde serán determinados los cambios en las coberturas y uso del suelo en una ventana de tiempo de 30 años, utilizando fotomosaicos realizados por la CVC en diferentes años (1986, 1998 y 2016). Esto con el fin de cuantificar las hectáreas de bosque pérdidas, clasificar las coberturas vegetales y determinar los cambios en el uso del suelo.

## 2.2 Marco teórico

### 2.2.1 Bosque seco tropical inundable

Los ecosistemas secos abarcan más de la mitad del área total de los trópicos y dan sustento a cerca de un billón de personas, estos bosques secos son típicos de tierras bajas y presentan una fuerte estacionalidad de lluvias (Pizano & García, 2014). Originalmente los ecosistemas secos cubrían cerca 9 millones de hectáreas en Colombia, de las que actualmente solo queda un 8%, la afección tan grande de este tipo de ecosistemas es que poseen suelos fértiles que son aprovechados en la producción agrícola y ganadera, ocasionando una afección y alteración del paisaje (Pizano & García, 2014). El 65% del área deforestada presentan desertificación, lo cual quiere decir que ya ni la producción agrícola es sostenible en estos lugares y es casi imposible recuperarlas a mediano-corto plazo. El bosque seco alberga una biodiversidad única, presentando casi 2600 especies de plantas de las cuales 83 son endémicas, 230 especies de aves de las cuales 33 son endémicas y 60 especies de mamíferos de los cuales 3 son endémicos, sin embargo, se cree que esta diversidad puede aumentar considerablemente puesto que el bosque seco es uno de los ecosistemas menos estudiados en el país (Pizano & García, 2014).

En el departamento del Valle del Cauca, la distribución del Bosque Seco Tropical se ha asociado al valle geográfico del río Cauca ubicado en la zona plana (Alvarado-solano, Tupac, & Ospina, 2015), sin embargo, en la actualidad esta zona ha tenido una reducción de la cobertura a pocos relictos que en la mayoría de los casos se encuentran bajo alguna estrategia de conservación. Se han realizado estudios (Alcarado *et al.*, 2015) utilizando modelos digitales de elevación para realizar análisis altitudinales, estos estudios mostraron que a pesar del avanzado deterioro de las coberturas de bosque seco en la zona plana, alrededor del 80% se localiza en ecosistemas de montaña, lo cual plantea que, a futuro, el potencial de estas áreas deberá reevaluarse para incluirlas en estrategias de conservación y restauración del bosque seco (Alcarado *et al.*, 2015).

Los fragmentos representativos del bosque seco tropical en el departamento del Valle del Cauca son la Hacienda Colindres (Jamundí), la Reserva Natural Laguna de Sonso (Bugá), el Parque Natural Regional (PNR) El Vínculo (Bugá), los bosques de Las Chatas (Bugá), Bosque El Tíber (San Pedro), el Jardín Botánico Juan María Céspedes (Tuluá), Hacienda el Medio (Zarzal), Hacienda Las Pilas (Zarzal), Hacienda Potrerochico (Cartago) y Hacienda el Hatíco (El Cerrito) (CVC 1990, González y Devia 1995, Armbrrecht y Ulloa-Chacón 1999, Salazar et al. 2002)

Estos parches de bosque han surgido en su mayoría debido a sucesiones secundarias de áreas que fueron abandonadas por la ganadería o la agricultura y posteriormente fueron colonizadas por especies dispersadas por viento o animales. Actualmente se están realizando investigaciones para estudiar la biodiversidad en bosques por medio de parcelas permanentes “Solamente 17 de 65 sitios de monitoreo de vegetación en Colombia, están ubicados en la zona de vida de bosque seco tropical (bs-T), en los departamentos de Bolívar (3 de 1 ha cada una), Córdoba (1 de 0,60 ha) y Tolima (13, una de 1 ha y el resto de 0,25 ha) (Vallejo et al. 2005). Es evidente la existencia de un vacío en el seguimiento de los bosques secos y muy secos del valle geográfico del río Cauca.” (Torres *et al.*, 2012).

### **2.2.2 Humedales**

Los humedales son ecosistemas que permiten la acumulación de agua de forma temporal o permanentes por procesos geológicos e hidrológicos, generando condiciones ambientales diversas para el sostenimiento de un gran número de organismos (Ponce, 2004) Los humedales son ecosistemas protegidos internacionalmente debido a que prestan servicios ecosistémicos muy importantes, generalmente funcionan como sitios de amortiguación que impiden la inundación de zonas pobladas (RAMSAR, 2012).

Tal como fue definido en la convención sobre el uso de los humedales, en estos ecosistemas se incluye una amplia variedad de hábitats tales como pantanos, turberas, llanuras de inundación, ríos y lagos tanto naturales como artificiales, RAMSAR también ha adoptado varias formas de clasificación de los humedales dependiendo sus características intrínsecas (RAMSAR, 2007).

### **2.2.3 Coberturas de la tierra**

“La Cobertura de la tierra, es la cobertura (bio) física que se observa sobre la superficie de la tierra” (Di Gregorio, 2005), en un término amplio no solamente describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también describen otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua (IDEAM, 2014).

### **2.2.4 Cobertura vegetal**

La cobertura vegetal comprende la vegetación que ocupa un determinado espacio dentro de un ecosistema, cumpliendo funciones importantes, relacionadas con la disposición de energía, refugio de la fauna, regulación del clima local y controlador de la contaminación (Cueva & Chalán, 2010).

A través del conocimiento de las coberturas de la tierra se puede obtener información fundamental para diversos procesos, como lo son los conflictos de uso territorial, ordenación de cuencas y del territorio, seguimiento a la deforestación de los bosques y los inventarios forestales (IDEAM, 2010), también son utilizados para la creación de mapas de los ecosistemas y para hacer seguimientos en

procesos de restauración monitoreando la capa de la vegetación a través del tiempo.

### **2.2.5 Corine Land Cover (CLC)**

Europa ha sido uno de los principales promotores para la obtención de la cobertura de la tierra, ya que empezaron en 1990 un programa denominado CORINE (Coordination of Information on the Environment), el cual tenía como objetivo definir una metodología específica para generar el inventario de la cobertura de la tierra. Actualmente la base de datos generada a partir de este proyecto constituye un fuerte soporte para la toma de decisiones políticas relacionadas con el medio ambiente (IDEAM *et al.*, 2008).

Colombia se propuso a estandarizar un sistema de clasificación jerárquico para las coberturas y adaptó el modelo europeo de CORINE Land Cover para que fuera aplicable a las condiciones y características del territorio Colombiano (IDEAM *et al.*, 2008).

Las principales ventajas de la metodología CORINE Land Cover son que permite obtener una capa de cobertura de la tierra de una manera relativamente sencilla, brindando una buena relación entre calidad-costo. La aplicación de esta metodología permite realizar análisis multitemporales de los diferentes conceptos de cobertura (IDEAM *et al.*, 2008).

La aplicación de esta metodología permitió generar un esquema de clasificación de coberturas específico para Colombia, esta clasificación se dividió en 5 grandes grupos que son:

- Territorios artificializados.
- Territorios agrícolas.
- Bosques y áreas seminaturales.
- Áreas húmedas.
- Superficies de agua.

Los territorios artificiales comprenden áreas pobladas como ciudades o pueblos y zonas periféricas que están en el proceso de transformación para fines comerciales, industriales y de servicios recreativos (IDEAM, 2010).

Los territorios agrícolas son los terrenos dedicados a la producción de alimentos y materias primas industriales, esta categoría incluye cultivos con pastos, en rotación y en descanso o barbecho. “Abarca las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas” (IDEAM, 2010)

Los bosques y áreas seminaturales comprenden un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, que se pueden encontrar en diferentes pisos altitudinales. En esta categoría se incluyen otras coberturas como las plantaciones forestales y la vegetación secundaria o en transición (IDEAM, 2010).

Áreas húmedas comprende las coberturas constituidas por terrenos inundables, que pueden estar también cubiertos por vegetación (IDEAM, 2010).

La categoría de superficies de agua, representa a los cuerpos y cauces de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el interior o al borde del continente, como los mares (IDEAM, 2010).

### **2.2.6 Sistemas de información geográfica (SIG)**

“Son sistemas informáticos que utilizan información georreferenciada, tal como números de lotes, información catastral, coordenadas de latitud y longitud”. Un SIG puede mapear cualquier información almacenada en planillas o bases de datos, que tengan un componente geográfico que permita ubicarlos en el espacio; los SIG pueden incorporar en un mismo mapa diversas variables como por ejemplo cartas de suelos, datos climáticos, vegetación y cultivos, algunos de esos datos provienen de imágenes satelitales. (Scanterra, 2015)

### **2.2.7 Análisis multitemporal de coberturas de la tierra**

Los análisis multitemporales de tipo espacial se realizan mediante la comparación de dos o más imágenes satelitales, aéreas o mapas de un mismo lugar en diferentes fechas. Esto con el fin de evaluar los cambios en la situación de las coberturas que han sido clasificadas a través del tiempo, generando formas o modelos de monitoreo de la historia de la tierra (Scanterra, 2015).

### **2.2.8 Operaciones de mapas**

Las operaciones de mapas es una herramienta que funciona como una calculadora, permitiendo hacer cálculos de matrices de datos espaciales a imágenes, en las cuales cada celda contiene un valor o código asignado que puede representar información como por ejemplo temperatura o clima. Las operaciones de mapas se utilizan para realizar operaciones entre estas matrices de datos generando proyecciones de los cambios en las variables (Sarría, n.d.).

### **2.2.9 Utilización de drones (UAV) en SIG**

Un UAV se define como un vehículo aéreo motorizado que no lleva a bordo ningún tipo de operador humano, utiliza las fuerzas aerodinámicas para generar sustento en el momento de vuelo. Estos vehículos pueden volar de manera autónoma o remota mediante la utilización de tarjetas controladoras o controles remotos (Cuerno, 2015).

Las primeras publicaciones científicas que recolectaron datos ambientales y

geográficos con la utilización de los drones, fueron estudios realizados por Tomlis y Manore (1983), donde se identificaron más de 46 posibles aplicaciones cartográficas, ambientales y geográficas para estos aparatos tecnológicos, sin embargo, muchas de estas aplicaciones se encuentran aún en ideas y no han podido ser desarrolladas en su totalidad (Hardin, 2010).

No obstante, en los últimos años se han realizado avances importantes en la utilización de UAVs en el campo ambiental, específicamente en la agricultura de precisión, monitoreo de la diversidad, vigilancia de hábitats, zonas protegidas y la generación de imágenes aéreas de alta resolución espacial para obtener modelos de elevaciones (Paneque-Gálvez, *et al.*, 2014).

La utilización de los drones está siendo cada vez mayor y sus aplicaciones muestran resultados interesantes y de gran utilidad, especialmente para la generación de estimaciones en la cartografía de dosel (Paneque-Gálvez *et al.*, 2014).

A lo largo del tiempo se han utilizado diferentes herramientas para estimar variables dasométricas, que se ocupa de mediciones forestales, tanto del árbol individual como de la masa de vegetación (Carretero, 2015), una de estas herramientas son muestreos en campo para realizar inventarios forestales. Sin embargo, en la actualidad “la teledetección ofrece un abanico de posibilidades para incorporarse en las estimaciones forestales” (Ortiz-Reyes *et al.*, 2015), un ejemplo de esto es LiDAR, una herramienta que permite caracterizar de forma tridimensional el bosque. En el presente se están realizando grandes esfuerzos para optimizar la obtención de información de calidad acerca de los parámetros biofísicos del bosque como la estructura del dosel y la cobertura vegetal.

Una de las desventajas que presentan estas herramientas como por ejemplo el uso de los Landsat es que al ser satélites manejan generalmente un nivel de resolución de imágenes por encima de 1:100.000, son susceptibles a la obstrucción climatológica como la nubosidad y las interferencias de radio y microondas, sin contar también con la disponibilidad de las imágenes para algunos sitios de interés investigativos (García, 2011).

Debido a la fácil utilización y movilidad de los drones, es posible obtener fotografías aéreas de muy altas resoluciones y de manera mucho más económica, esto permite aumentar la frecuencia en la cual se realizan algunos programas de monitoreo, obteniendo así un mayor nivel de detalle en el seguimiento de los procesos, proporciona también una mayor autonomía de vuelo y flexibilidad frente a los fenómenos climatológicos. Sin embargo, los drones también presentan ciertas desventajas como los son la dificultad de cubrir áreas muy grandes (mayores a 500-700 ha), el poco tiempo de vuelo (aproximadamente 25 minutos) y las limitaciones en altura de vuelo que traen por defecto los softwares de los fabricantes.

## **2.3 OBJETIVOS**

### **2.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el cambio en las coberturas vegetales y el uso del suelo en la laguna de Sonso comparando fotomosaicos construidos en 1986, 1998 y 2016

### **2.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

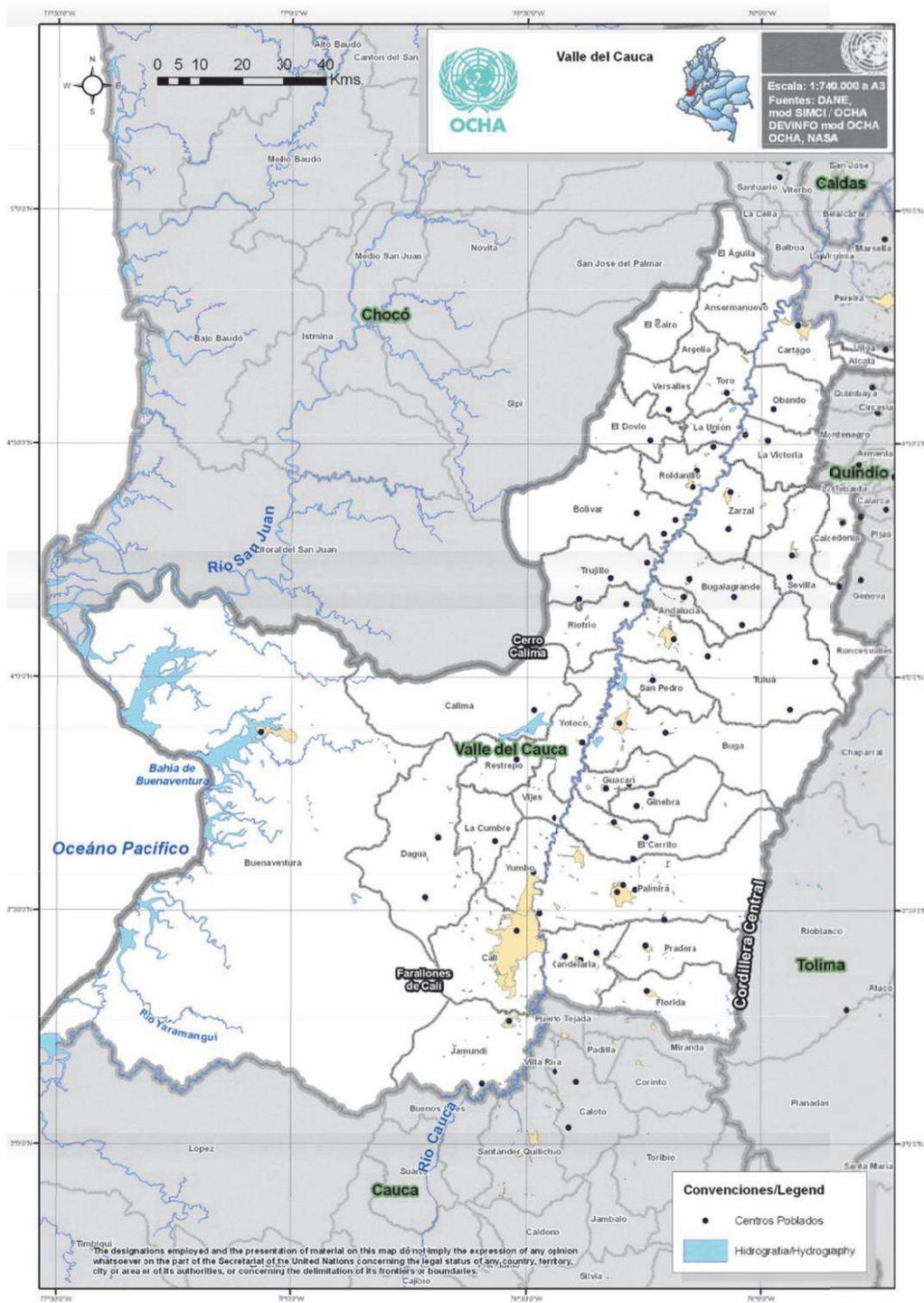
- 2.3.2.1 Generar un fotomosaico actual (2017) ortorectificado de la zona norte de la laguna de Sonso y el bosque Las Chatas.
- 2.3.2.2 Clasificar los diferentes tipos de coberturas de la tierra existentes en la Laguna de Sonso utilizando la metodología de Corine Land Cover adaptada para Colombia.
- 2.3.2.3 Determinar los años de mayores cambios en las coberturas y el uso de suelo, reconociendo así años de alto impacto en las coberturas.

## **2.4 METODOLOGÍA**

### **2.4.1 Área de estudio**

La Laguna de Sonso se encuentra localizada dentro del complejo de humedales de la cuenca alta del río Cauca, cuenca del río Magdalena, en el centro geográfico del Valle del Cauca (Peck, 2007). Se ubica sobre la margen derecha del río Cauca a una distancia aproximada de 5 kilómetros al sur de la ciudad de Buga (figura 1). Comprende las áreas delimitadas por los ríos Sonso y Guadalajara, también incluye el área de drenaje de la propia laguna (Hernández, 2005).

El área de estudio se encuentra delimitada dentro de un polígono de 2695.02 ha, el cual abarca todo el espejo de agua de la laguna junto con sus alrededores, incluyendo dentro el predio adquirido por la CVC “La Isabella” y el relicto de bosque de las Chatas (figura 2).



**Figura 1.** Ubicación de la Laguna de Sonso; mapa tomado del Geoportal del DANE (El Departamento Administrativo Nacional de Estadística).



**Figura 2.** Polígono de trabajo sobre la Laguna de Sonso con una extensión de 2695 ha.

### 2.4.2 Insumos

Los insumos adquiridos para la realización del proyecto fueron imágenes aéreas georreferenciadas, facilitadas por la Corporación Regional del Valle del Cauca (CVC) a la Universidad Icesi y al doctor Carlos Valderrama con el fin del cumplimiento de este proyecto.

**Tabla 1.** Información de los insumos utilizados.

Tipo de vuelo	Código	No. FOTO	AÑO
C-2249	S-648	241	1.986
F-407	37B	416	1.998
LIDAR	No aplica	No aplica	2.016

Los criterios de selección para los fotomosaicos y el área de estudio, se basaron en la presencia/ausencia de errores o distorsiones de tipo radiométrica, geométrica o atmosférica significativas, otro de los factores discriminantes es el porcentaje de nubosidad de las fotografías y la cantidad de sombras, que no debe ser mayor al 10% del total del área de trabajo (Unesco, 2012).

Por otro lado, los fotomosaicos realizados en esta investigación fueron realizados por la empresa Circle que se encarga de realizar trabajos de fotogrametría, la empresa se encuentra al mando de Javier Eduardo Vergara y fueron ellos quienes nos dieron los insumos necesarios para realizar la construcción de los fotomosaicos.



**Figura 3.** Fotomosaico utilizado para el año 1986.



**Figura 4.** Fotomosaico utilizado para el año 1998.



**Figura 5.** Fotomosaico utilizado para el año 2016.

### **2.4.3 Clasificación de las coberturas y uso del suelo**

La clasificación de las coberturas se realizó en base a la metodología de CORINE Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM et al., 2008), utilizando la leyenda nacional de coberturas de la tierra-Colombia. Se realizó también un modelo del esquema de clasificaciones de CLC pero diseñado para la Laguna de Sonso (tabla 3). Dentro de la clasificación de CLC se utilizaron diferentes niveles que representan el detalle de la clasificación, el nivel 1 hace referencia a las coberturas de manera general, el nivel 2 a qué tipo de coberturas son, por ejemplo, si son pastos o zonas boscosas o de cultivo y el nivel 3 enfatiza en qué tipo de cultivos son (caña, maíz, arroz) o qué tipo de bosques, en la figura 3 se pueden ver cada uno de los niveles. Estas clasificaciones se hacen dependiendo de la resolución de los fotomosaicos teniendo en cuenta sus tamaños de pixel.

El nivel de detalle utilizado para los análisis fue el nivel 2, puesto que al encontrarse en blanco y negro los fotomosaicos de 1986 y 1998 es muy difícil determinar el nivel de detalle en la categoría 3 (nivel 3), ya que la resolución de estos mosaicos no permite una clara clasificación al nivel de detalle 3 de las coberturas.

**Tabla 2.** Esquema de clasificación de coberturas, según la metodología CORINE Land Cover- Tabla obtenida de la leyenda nacional de coberturas de la tierra IDEAM, 2010.

LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - COLOMBIA	
<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>
<b>1.1. Zonas urbanizadas</b>	<b>3.1. Bosques</b>
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
<b>1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación</b>	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.2. Bosque abierto
1.2.4. Aeropuertos	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable
<b>1.3. Zonas de extracción minera y escombreras</b>	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	3.1.3. Bosque fragmentado
<b>1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas</b>	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.1.5. Plantación forestal
1.4.2. Instalaciones recreativa	<b>3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva</b>
<b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>	3.2.1.1. Herbazal denso
<b>2.1. Cultivos transitorios</b>	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2.1.2. Cereales	3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
2.1.4. Hortalizas	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
2.1.5. Tubérculos	3.2.1.1.2.3. Arracachal
<b>2.2. Cultivos permanentes</b>	3.2.1.1.2.4. Helechal
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2. Herbazal abierto
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
2.2.1.2. Caña	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
2.2.1.3. Plátano y banano	3.2.2.1. Arbustal denso
2.2.1.4. Tabaco	3.2.2.2. Arbustal abierto
2.2.1.5. Papaya	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
2.2.1.6. Amapola	<b>3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación</b>
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3.3.1. Zonas arenosas naturales
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	3.3.2. Afloramientos rocosos
2.2.2.2. Café	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
2.2.2.3. Cacao	3.3.4. Zonas quemadas
2.2.2.4. Viñedos	3.3.5. Zonas glaciares y nivales
2.2.2.5. Coca	<b>4. AREAS HÚMEDAS</b>
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	<b>4.1. Áreas húmedas continentales</b>
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	4.1.1. Zonas Pantanosas
2.2.3.2. Palma de aceite	4.1.2. Turberas
2.2.3.3. Cítricos	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
2.2.3.4. Mango	<b>4.2. Áreas húmedas costeras</b>
2.2.4. Cultivos agroforestales	4.2.1. Pantanos costeros
2.2.5. Cultivos confinados	4.2.2. Saltral
<b>2.3. Pastos</b>	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
2.3.1. Pastos limpios	<b>5. SUPERFICIES DE AGUA</b>
2.3.2. Pastos arbolados	<b>5.1. Aguas continentales</b>
2.3.3. Pastos enmalezados	5.1.1. Ríos (50 m)
<b>2.4. Áreas agrícolas heterogéneas</b>	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
2.4.1. Mosaico de cultivos	5.1.3. Canales
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	<b>5.2. Aguas marítimas</b>
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	5.2.1. Lagunas costeras
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	5.2.2. Mares y océanos
	5.2.3. Estanques para acuicultura marina

**Tabla 3.** Propuesta adaptada para la laguna de Sonso utilizando como base la metodología de CORINE Land Cover. Los niveles resaltados en colores hacen

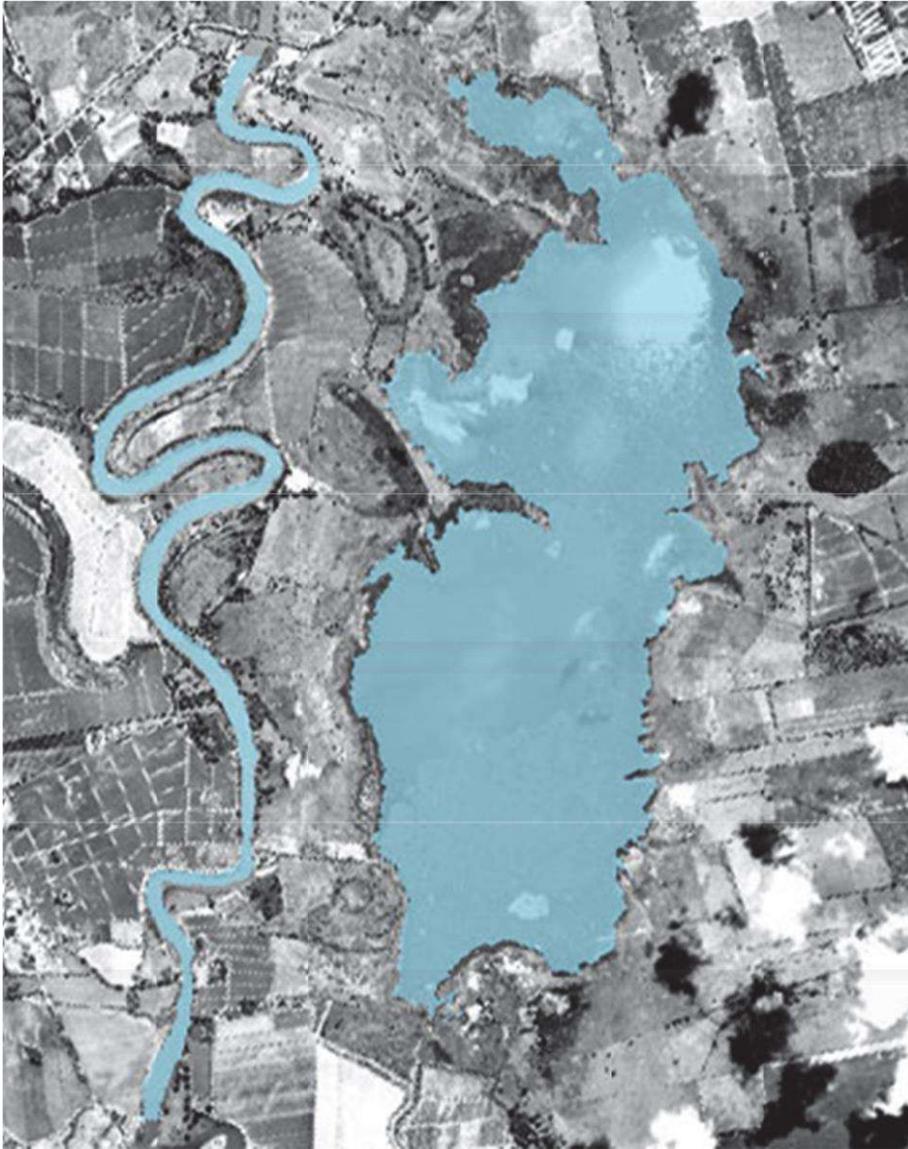
referencia a los utilizados en este estudio, rojo para nivel 1, azul para nivel 2.

---

<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>
<b>1.1. Zonas urbanizadas</b>	<b>3.1. Bosques</b>
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable
<b>1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación</b>	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.1.2. Bosque abierto
1.2.3. Obras hidráulicas	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme
<b>1.3. Zonas de extracción minera y escombrera</b>	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable
1.3.1. Zonas de disposición de	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme
<b>1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas</b>	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.1.3. Bosque fragmentado
1.4.2. Instalaciones recreativas	<b>3.2. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación</b>
<b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>	3.2.1. Zonas arenosas naturales
<b>2.1. Cultivos transitorios</b>	3.2.2. Tierras desnudas y degradadas
2.1.1. Cereales	3.2.2. Zonas quemadas
<b>2.2. Cultivos permanentes</b>	<b>4. SUPERFICIES DE AGUA</b>
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	<b>4.1. Aguas continentales</b>
<b>2.2.1.1. Caña</b>	4.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
2.2.1.2. Plátano y banano	4.1.3. Canales
<b>2.3. Pastos</b>	4.1.4. Ríos
2.3.1. Pastos enmalezados	
2.3.2. Pastos Limpios	

---

La clasificación de las coberturas fue realizada de manera visual, en donde por medio de observaciones se analizaba cada una de las zonas del área de estudio, determinando así el nivel de clasificación al cual pertenece. De esta forma y con la utilización del software ArcMap en su Versión 10.3 se dibujaron polígonos que encerrarán las áreas correspondientes a cada cobertura como se muestra en la figura 6.



**Figura 6.** Modelamiento de polígonos sobre el área de estudio.

Para cada polígono trazado se asignaron tres niveles diferentes de clasificación según la categoría a la cual pertenece, en la tabla 4 se muestra un ejemplo para la figura 6, en donde fueron asignados los tres niveles de clasificación al espejo de agua de la laguna y al río Cauca.

**Tabla 4.** Clasificación para el espejo de agua de la laguna y el río Cauca según la metodología de CLC.

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
Superficies de agua	Aguas continentales	Lagunas, lagos y ciénagas naturales
Superficies de agua	Aguas continentales	Ríos

El procedimiento realizado anteriormente se generó sobre toda el área de estudio (las 2690 ha) y para los tres fotomosaicos referentes a cada año de estudio (1986, 1998 y 2016).

#### 2.4.4 Control de calidad

Toda la información generada a partir del trazo de los polígonos para generar la clasificación de coberturas pasa a través de procesos de control de calidad, donde se revisa polígono a polígono el mapa de coberturas, con el objeto de garantizar conformidad en la información (IDEAM *et al.*, 2009).

El proceso de control de calidad se usa con el fin de garantizar la confiabilidad y exactitud del producto cartográfico. El control de calidad se realizó siguiendo el manual de control de calidad para el procedimiento de cobertura de la tierra publicado por el IDEAM en el 2009.

El control de calidad fue hecho por medio de la herramienta “topology” disponible en ArcMaps, la cual permite evaluar el proceso de delimitación de las diferentes unidades de cobertura, analizando aspectos técnicos relacionados con posibles inconsistencias como lo son polígonos sin cerrar completamente, existencia de polígonos adyacentes con el mismo código, polígonos con más de un código, polígonos superpuestos o polígonos vacíos (IDEAM *et al.*, 2009).

#### 2.4.5 Trabajo de campo

La metodología que se utilizó en el campo es la planteada en la metodología CORINE Land Cover y en el estudio del análisis de cambio de las coberturas de la tierra en Colombia que se basa en visitar la mayor cantidad de coberturas donde existieran dudas en su clasificación y fuera posible su acceso (IDEAM, 2010).

En algunas ocasiones la clasificación de las coberturas era dudosa a partir únicamente de los mosaicos, esto es debido a que la resolución imposibilitaba tener un criterio exacto de clasificación, por ende, para el último año de estudio se realizaron algunas visitas a los sitios de fácil acceso y se hicieron sobrevuelos con drones para identificar con exactitud qué tipo de coberturas tenían dichas áreas. Cabe aclarar que para los fotomosaicos de 1986 y 1998 era imposible realizar un trabajo de campo, por esto se tuvieron que realizar diferentes consultas y

revisiones externas para delimitar las clasificaciones de manera exacta.

#### **2.4.6 Análisis multitemporal**

Todos los análisis desarrollados en este proyecto fueron realizados utilizando el software ArcGIS en su versión 10.3, fabricado por ESRI. Es importante aclarar que los análisis multitemporales deben realizarse mediante el diseño de matrices y estas matrices no permiten la combinación simultánea de más de dos categorías, es decir que únicamente se puede comparar un año con otro y no tres años al mismo tiempo. De esta forma los análisis realizados fueron hechos de la siguiente manera: 1986 con 1998, 1998 con 2016 y 1986 con 2016, de esta forma también obtenemos análisis puntuales y un análisis general de los usos y las coberturas.

#### **2.4.7 Estandarización de los datos**

Debido a que no se puede levantar la misma información de una fotografía de 1986 a una de 1998 o 2016, se realiza una estandarización de las categorías de clasificación (Franco, 2016), en este caso la estandarización de las categorías se generó a partir del nivel dos de clasificación por temas de simplicidad y manejo de la información y siguiendo la metodología del IDEAM para análisis multitemporales que propone trabajar con el nivel dos de clasificación (IDEAM *et al.*, 2009).

#### **2.4.8 Matrices de transición**

Una vez realizada la estandarización de los datos se procede a crear una matriz, en la cual se asignan valores numéricos a cada una de las clasificaciones realizadas, esto con el fin de poder cuantificar los cambios en las coberturas. Es importante aclarar que las matrices son uno a uno esto quiere decir que solo puede combinarse una característica con otra o sea solo dos características en la misma matriz y no tres características de manera simultánea. En este caso se realizaron tres matrices diferentes una para cada compilación entre años, una matriz para la combinación de años 1986-1998, otra para la combinación 1998-2016 y la última para la combinación 1986-2016 (Torres *et al.*, 2016).

Estas matrices creadas, cuentan con una denominación específica que son matrices de transición, las matrices de transición se encargan de relacionar cada variable entre sí, de manera que a cada variable de una determinada característica se le asigna un código o valor único que se relacionará directamente con otras variables de la otra característica de interés. De esta forma es posible cuantificar los cambios en las coberturas, por medio de la realización de operaciones matemáticas. Las matrices de transición muestran los cambios que se producen al sumar las capas de dos años diferentes, o si en su defecto no se produjo ningún cambio. Por lo tanto, es posible determinar el cambio de la cobertura y el uso del suelo para cada una de las categorías del nivel dos, es decir que, si por ejemplo una zona determinada era bosque en el año “X”, la matriz muestra si continuó siendo bosque o paso a otra categoría en el año “Y”.

**Tabla 5.** Matrices de transición para los años 1986 - 1996, 1998 - 2016 y 1986 – 2016. Se muestran las matrices de transición para cada uno de los años estudiados, en amarillo se encuentran los valores asignados a cada una de las variables, los valores resaltados en rojo hacen referencia a que al sumar las dos categorías no hubo ningún cambio en la clasificación, es decir que lo que era bosque se mantuvo como bosque y lo que era cultivos se mantuvo como cultivo

			1998				
			Aguas continentales	Bosques	Cultivos permanentes	Pastos	
			10	20	30	40	
1986	Aguas continentales	1	11	21	31	41	
	Bosques	2	12	22	32	42	
	Cultivos permanentes	3	13	23	33	43	
	Pastos	4	14	24	34	44	
			2016				
			Aguas continentales	Bosques	Cultivos permanentes	Pastos	Zonas urbanizadas
			10	20	30	40	50
1998	Aguas continentales	1	11	21	31	41	51
	Bosques	2	12	22	32	42	52
	Cultivos permanentes	3	13	23	33	43	53
	Pastos	4	14	24	34	44	54
			2016				
			Aguas continentales	Bosques	Cultivos permanentes	Pastos	Zonas urbanizadas
			10	20	30	40	50
1986	Aguas continentales	1	11	21	31	41	51
	Bosques	2	12	22	32	42	52
	Cultivos permanentes	3	13	23	33	43	53
	Pastos	4	14	24	34	44	54

**Tabla 6.** Descripción de los valores de las matrices de transición, significado de cada uno de los códigos asignados a las matrices. Las celdas en rojo muestran los valores correspondientes a las coberturas que se mantuvieron igual a través del tiempo.

<b>Se mantuvo como agua continental</b>	<b>11</b>
de bosque a agua continental	12
de cultivo a agua continental	13
de pasto a agua continental	14
de agua continental a bosque	21
<b>se mantuvo como bosque</b>	<b>22</b>
de cultivo a bosque	23
de pastos a bosque	24
de agua a cultivo	31
de bosques a cultivo	32
<b>se mantuvo como cultivo</b>	<b>33</b>
de pasto a cultivo	34
de agua a pastos	41
de bosques a pastos	42
de cultivos a pastos	43
<b>se mantuvo como pastos</b>	<b>44</b>
agua a zonas urbanizadas	51
de bosque a zonas urbanizadas	52
de cultivo a zonas urbanizadas	53
de pastos a zonas urbanizadas	54

Los valores de las matrices de transición hacen referencia siempre a cinco categorías, pero para los años de 1986 y 1998 los valores referentes a las categorías de zonas urbanas es cero, de esta forma la tabla se visualiza como si fueran únicamente cuatro categorías para los respectivos años hablados anteriormente. Los valores dentro de las matrices muestran el cambio que hubo de un año a otro.

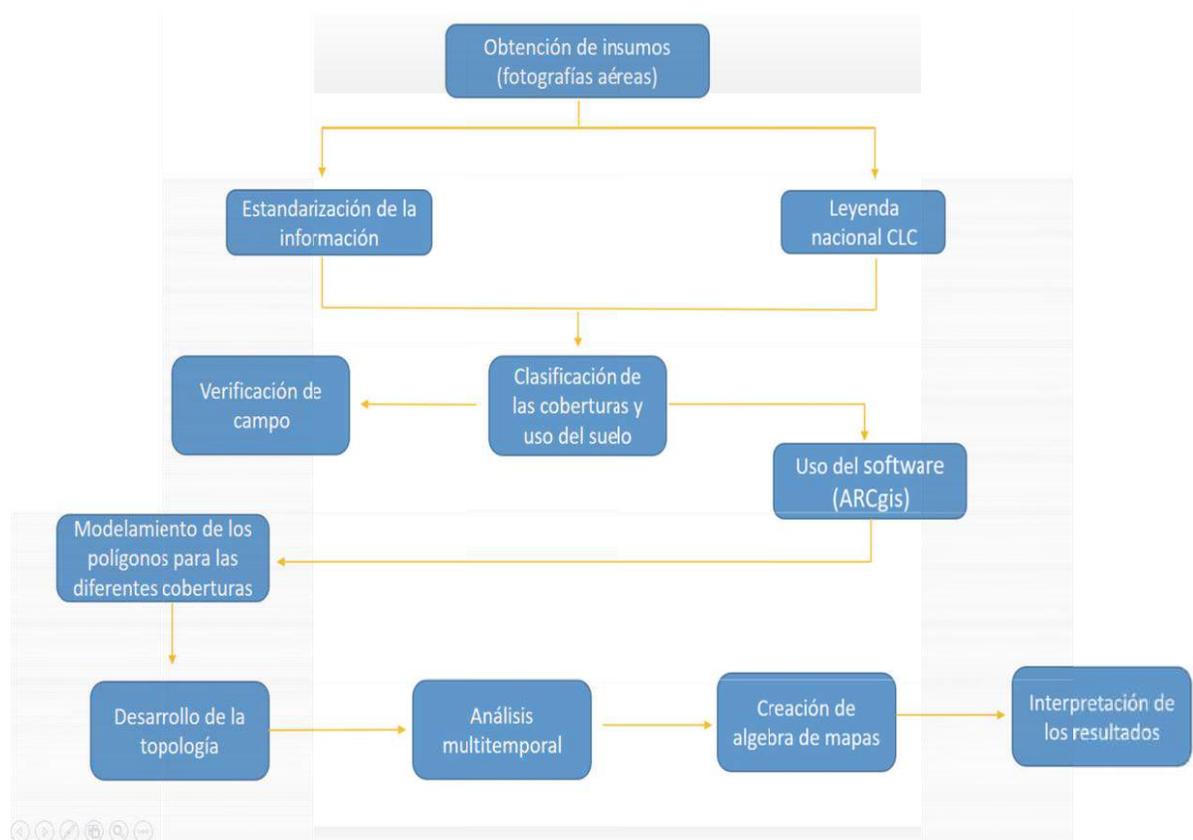
#### **2.4.9 Intersecar**

Es una herramienta de ArcGis que “permite calcular la intersección geométrica de cualquier cantidad de clases de entidad y capas de entidades”. Esta herramienta permite combinar dos capas manteniendo los valores y categorías de cada una y determinando los lugares de intersección entre ambas capas.

Las ventajas que brinda la herramienta intersecar, es que permite realizar álgebra de mapas sin necesidad de convertir el archivo shapes a raster, por lo tanto, se realiza el álgebra de mapas en shapes files.

#### 2.4.10 Álgebra de mapas

El álgebra de mapas es el encargado de sumar las matrices generadas anteriormente, al sumar las matrices se obtiene como resultado los cambios a través del tiempo de las coberturas, sabiendo así si una cobertura pasó de pastos a bosques, se mantuvo igual o se transformó en otro tipo de cobertura. La herramienta de álgebra de mapas se encuentra disponible en el ArcMap dentro de Spatial Analyst Tools.



**Figura 7.** Resumen sinóptico de la metodología utilizada.

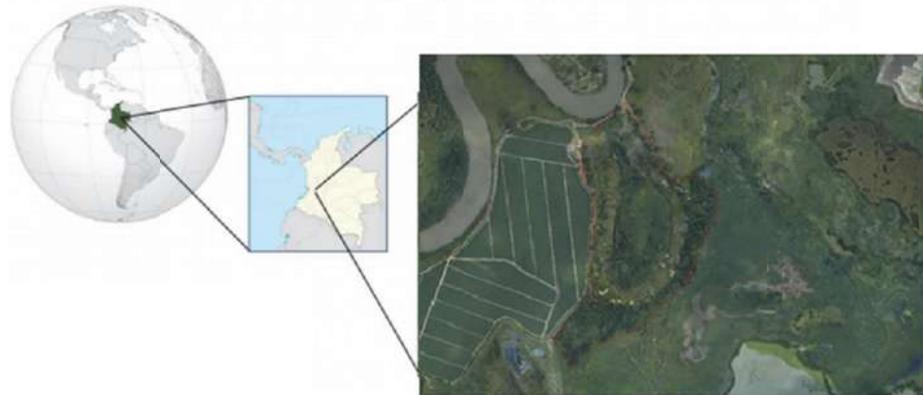
#### 2.4.11 Construcción de ortofotomosaicos por medio de la utilización de drones

La construcción de un ortofotomosaico utilizando drones es un proceso de diversos pasos que implica desde la planeación de un vuelo hasta días de procesamiento digital.

#### 2.4.12 Delimitación del área de trabajo

Lo primero que se realizó fue la elección de los sitios de interés a sobrevolar, una vez identificadas las zonas a sobrevolar se planifica el polígono del área en

estudio a ser sobrevolada sobre el software Google Earth Pro y se establecen las rutas de vuelo que garantice la cobertura fotogramétrica total del área y los linderos del predio o el bosque. Los polígonos que se trazan son en formato KML para posteriormente poder ser exportados. En este caso las áreas a sobrevolar se estiman en aproximadamente 11 y 56 ha, referentes a el bosque de las Chatas y el predio de la CVC La Isabella respectivamente.



**Figura 9.** Localización del predio La Isabella

#### **2.4.13 Planificación del vuelo**

La planificación del vuelo se realiza utilizando un software especializado en programaciones de vuelos automáticos para aviones DJI, este software es una aplicación disponible para iPad y se denomina DJI GS Pro. Sobre este software se carga el polígono realizado anteriormente y él se encarga de calcular y programar los niveles de traslapes necesarios para cubrir toda el área de interés, los vuelos se realizaron a 120 metros de altura que es lo que se recomienda generalmente (García-cervigón & José, 2015)5.15

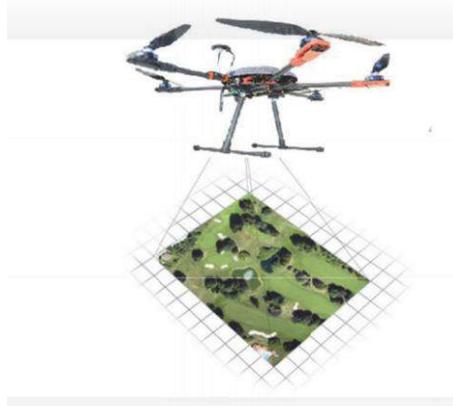
#### **Ejecución del plan de vuelo**

La ejecución del plan de vuelo se realizó utilizando un vehículo multirotor Phantom 4 Pro (DJI), el cual cuenta con una cámara 4k de 20 MP y utiliza dos tipos de constelaciones de satélites los GPS y los GNSS logrando así un alcance hasta de 24 satélites.



**Figura 10.** Phantom 4 Pro utilizado para la captura de las fotografías aéreas.

El Phantom realizó el sobrevuelo, sigue las rutas de vuelo planificadas, mientras se toman las fotografías aéreas georreferenciadas con GPS, una vez finalizada la misión se recoge la información y se procede al análisis y procesamiento digital.



**Figura 11.** Ejecución del plan de vuelo

#### **2.4.14 Procesamiento digital de las fotografías**

El procesamiento de las imágenes se realizó utilizando el software Agisoft PhotoScan Professional (versión 1.3.4) sobre el cual se importan las fotografías tomadas y se transforman las coordenadas elipsoidales a un sistema de coordenadas cartesianas locales en este caso Magna Colombia Oeste.

Una vez transformadas las coordenadas se realiza un alineamiento de las fotografías ingresando unos puntos de control para que ayuden a la identificación de puntos comunes y tenga mayor precisión el alineamiento.

Una vez fueron alineadas las fotos se realizó la creación de una nube de puntos y una malla texturizada que al combinarse permiten la creación de un modelo digital de terreno y la finalización del ortofotomosaico (García-cervigón & José, 2015).

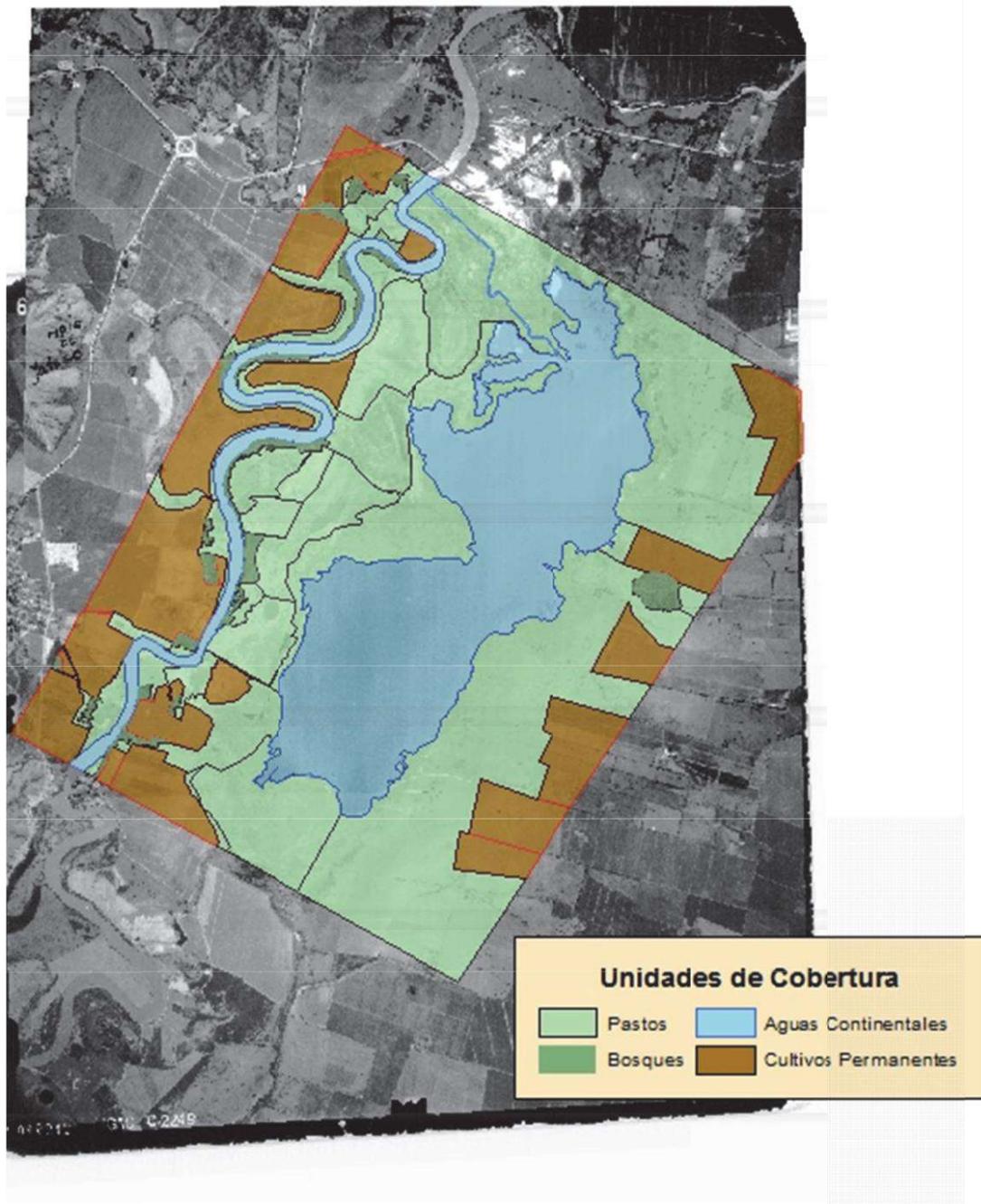
Resumen del procesamiento:

- Crear Proyecto.
- Importar Fotografías.
- Paso de coordenadas elipsoidales a sistema de coordenadas cartesianas locales.
- Alinear Fotografías.
- Ingresar puntos de control.
- Optimizar el alineamiento de las Fotos.
- Crear nube de puntos densa.
- Crear malla.
- Crear texturizado.
- Crear modelo digital de elevaciones.
- Crear Ortomosaico.

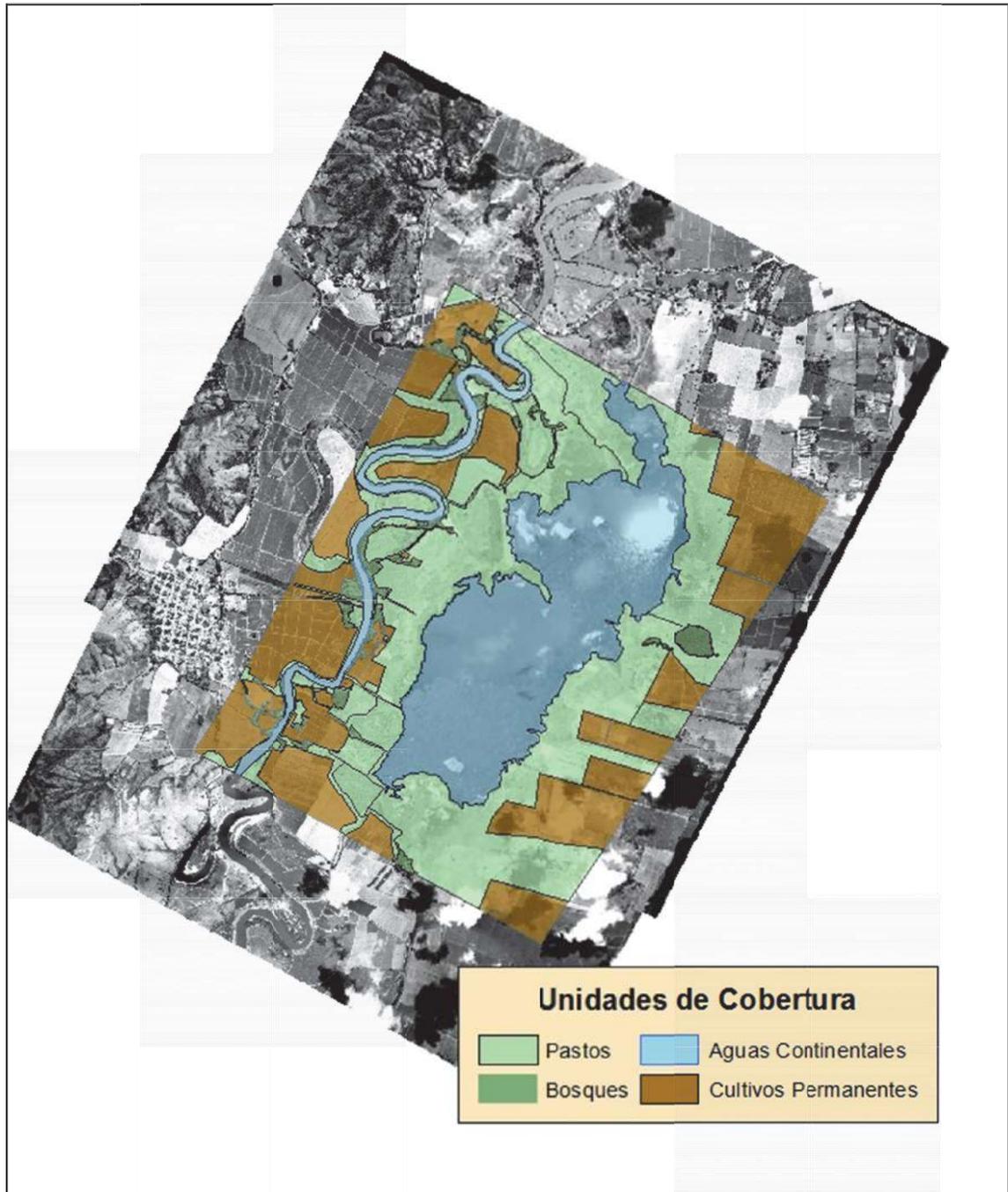
## **2.5 RESULTADOS**

### **2.5.1 Modelamiento de polígonos**

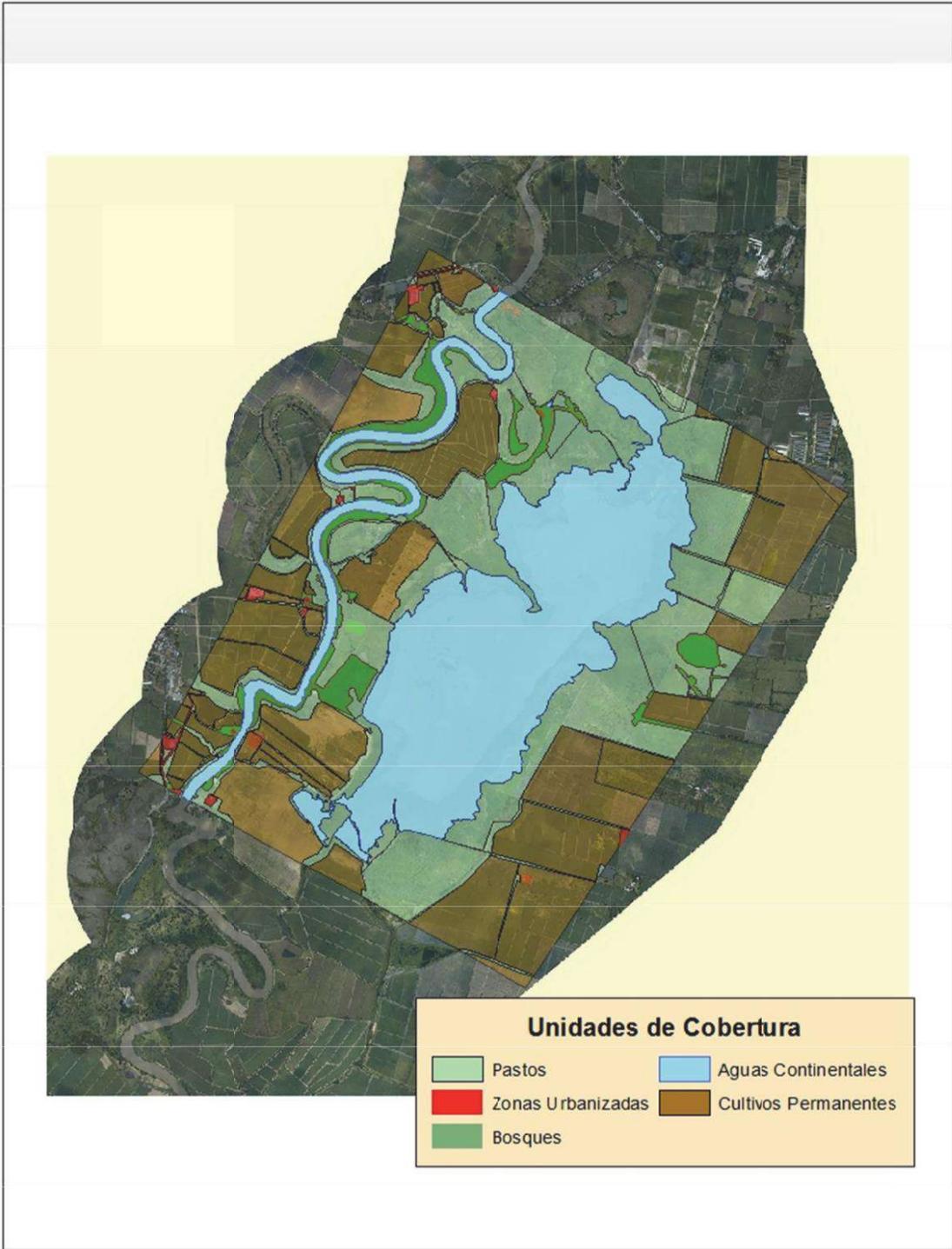
Los primeros resultados obtenidos en el marco del proyecto fueron los modelamientos de los polígonos para delimitar cada una de las áreas según los criterios de clasificación de CLC (figuras 12,13 y 14). Cada color de polígono muestra un tipo de cobertura diferente, a continuación, se muestran los modelamientos de los polígonos para cada uno de los fotomosaicos pertenecientes a los tres años de estudio.



**Figura 12.** Modelamiento de los polígonos sobre el área de estudio, junto con la clasificación para cada una de las coberturas en el año 1986.



**Figura 13.** Modelamiento de los polígonos sobre el área de estudio, junto con la clasificación para cada una de las coberturas en el año 1998.



**Figura 14.** Modelamiento de los polígonos sobre el área de estudio, junto con la clasificación para cada una de las coberturas en el año 2016.

La tabla 8 muestra el área para cada una de las diferentes clasificaciones en sus respectivos años, tanto en porcentaje y como en hectáreas. Para el año de 1986 el mayor porcentaje de cobertura perteneció a la zona de pastos con 50,7% y los bosques eran el menor porcentaje con 2.19% del área total, sin embargo, los cultivos permanentes ocupaban 20,8% cifra que es bastante significativa en una zona de área de protegida (Tabla 8).

Para el año de 1998 el porcentaje de los bosques aumentó a 3,10 lo cual quiere decir que en doce años hubo un crecimiento de los bosques del 1%, así como también para los cultivos que pasaron a tener un 7% más de cobertura (Tabla 8).

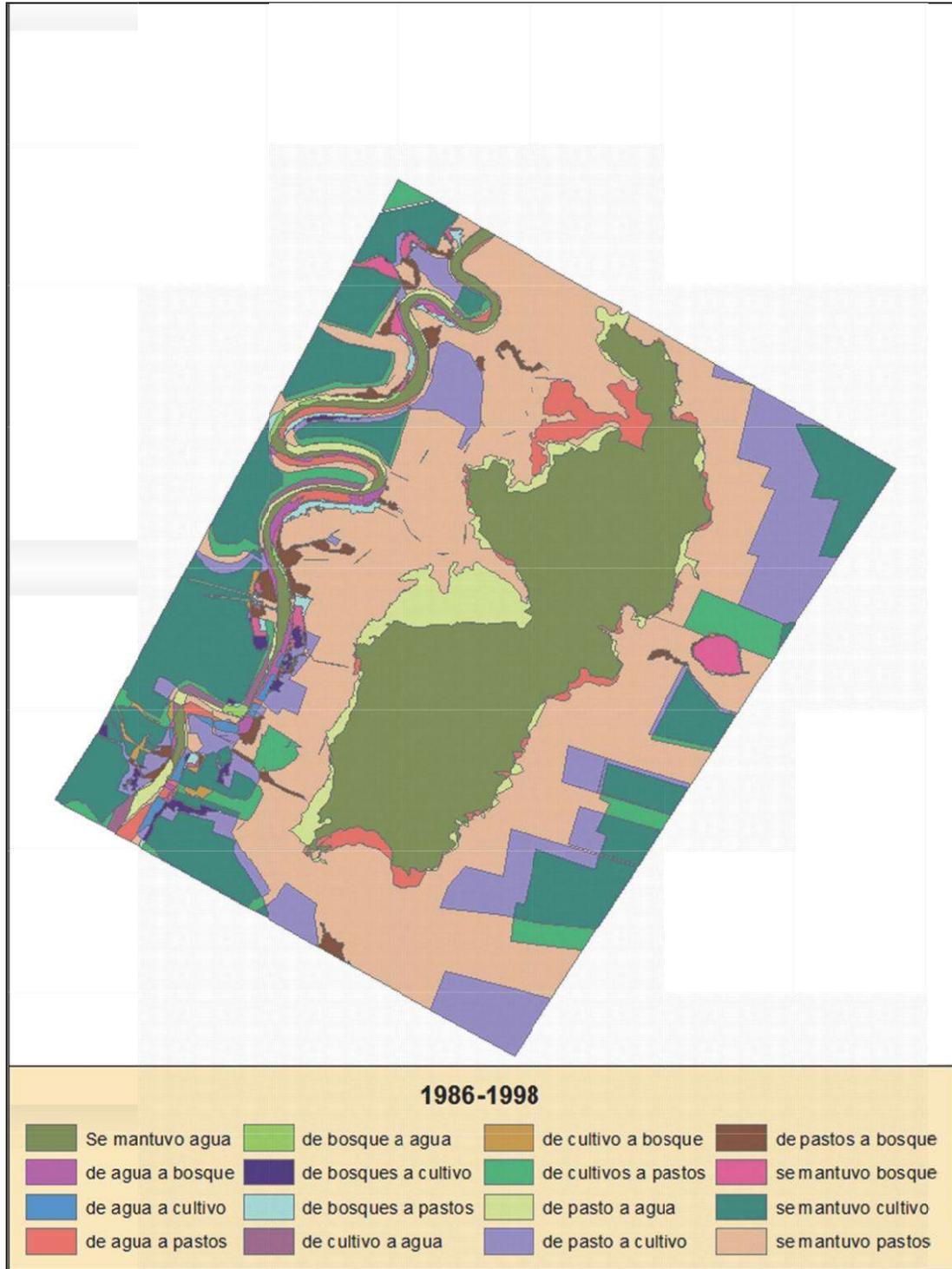
En el 2016 si se ve un aumento significativo en el área de bosques, en donde aumentaron su tamaño casi dos veces en comparación al tamaño inicial, sin embargo, el área de bosques sigue siendo muy pequeña en relación a las demás coberturas como los cultivos permanentes que poseen áreas de hasta 897 ha (Tabla 8).

**Tabla 8.** Áreas de cada una de las coberturas para los tres diferentes años de estudio. Las casillas que corresponden al valor cero en la siguiente tabla es debido a que esa clasificación no existió para los años correspondientes (1986 y 1998), esto es porque la resolución de los fотомosaicos imposibilitaba la delimitación de esta clasificación, además de que las fotografías son monocromáticas.

Coberturas de Nivel 2	1986		1998		2016	
	Área (ha)	Porcentaje	Área (ha)	Porcentaje	Área (ha)	Porcentaje
<b>Bosques</b>	59,09	2,19	83,51	3,10	116,90	4,34
<b>Aguas continentales</b>	705,20	26,17	732,03	27,17	766,74	28,45
<b>Cultivos permanentes</b>	563,01	20,89	751,17	27,88	897,66	33,31
<b>Pastos</b>	1367,29	50,74	1127,88	41,86	899,55	33,38
<b>Zonas urbanizadas</b>	0	0	0	0	13,74	0,51
<b>Área total (ha)</b>	2694,59					

Es importante resaltar que en esta tabla (8) se muestran los estados iniciales y finales de cada una de las categorías de clasificación para el nivel dos de las coberturas, es importante resaltar que las áreas referentes a bosque son las de menor tamaño en cada uno de los años.

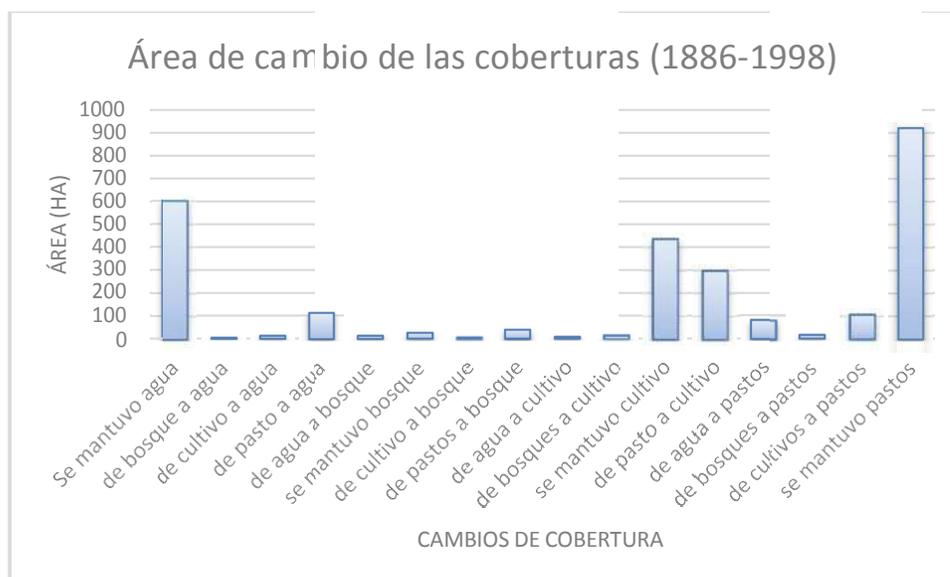
## 2.5.2 Análisis multitemporal 1986-1998



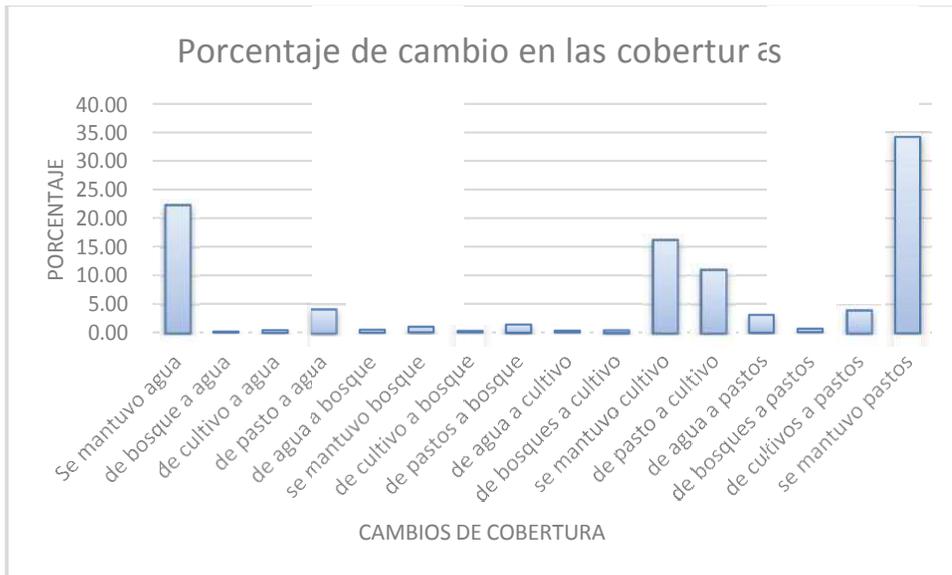
**Figura 15.** Mapa de cambios de las coberturas y usos del suelo para los años 1986 a 1998.

**Tabla 9.** Resumen de los cambios en las coberturas y usos de la tierra desde el año 1986 hasta 1998.

Código	Transformación	Cambio	ha	Porcentaje
11	Se mantuvo agua	No Cambió	602,60	22,34
12	de bosque a agua	Cambió	4,47	0,17
13	de cultivo a agua	Cambió	12,89	0,48
14	de pasto a agua	Cambió	112,08	4,16
21	de agua a bosque	Cambió	13,65	0,51
22	se mantuvo bosque	No Cambió	25,17	0,93
23	de cultivo a bosque	Cambió	7,08	0,26
24	de pastos a bosque	Cambió	37,55	1,39
31	de agua a cultivo	Cambió	8,19	0,30
32	de bosques a cultivo	Cambió	14,05	0,52
33	se mantuvo cultivo	No Cambió	437,20	16,21
34	de pasto a cultivo	Cambió	296,80	11,00
41	de agua a pastos	Cambió	80,53	2,99
42	de bosques a pastos	Cambió	15,57	0,58
43	de cultivos a pastos	Cambió	107,24	3,98
44	se mantuvo pastos	No Cambió	922,46	34,20
Total			2697,5	100,00



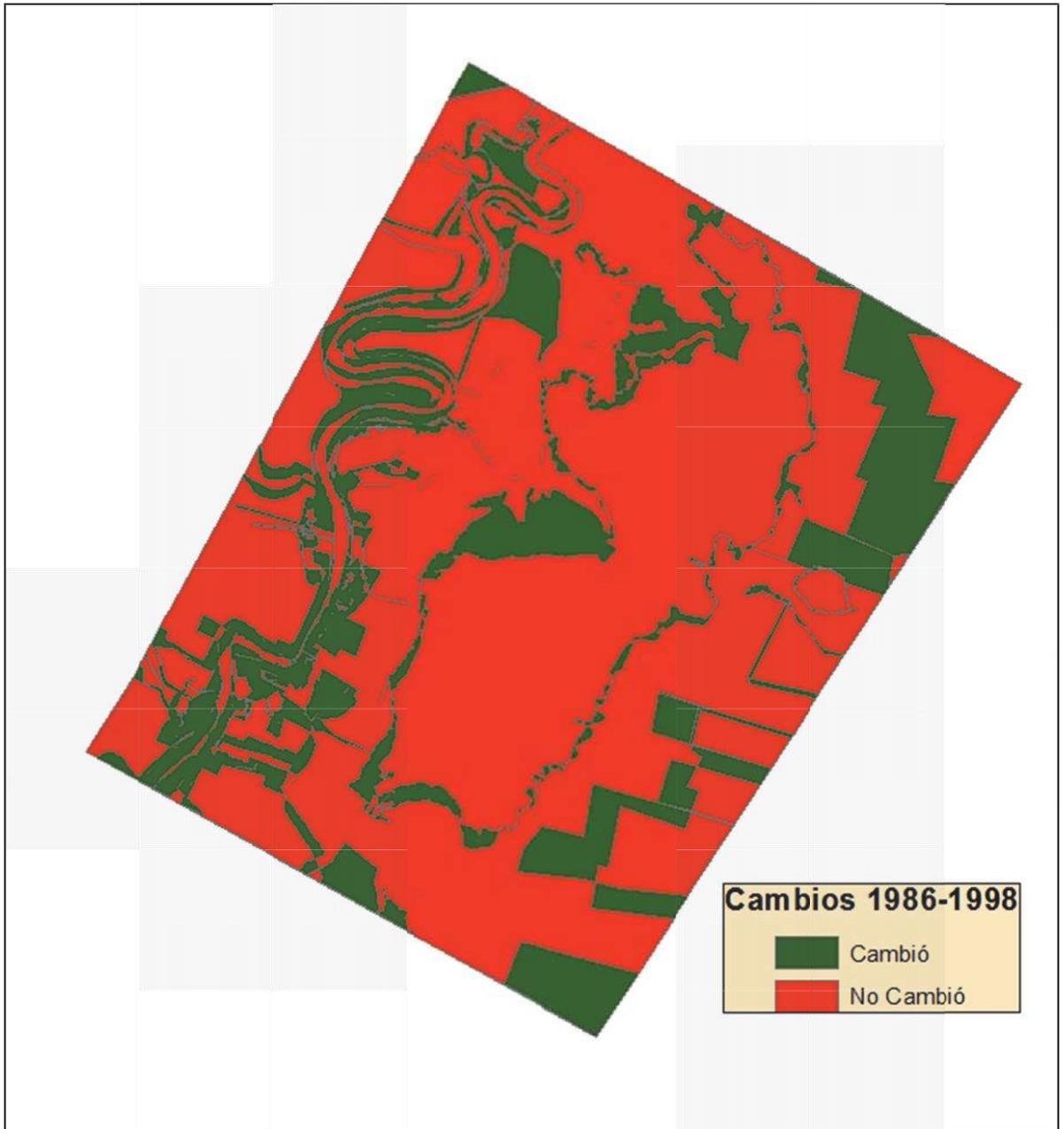
**Figura 16.** Área en hectareas del cambio en las coberturas y el uso del suelo entre los años 1986 a 1998.



**Figura 17.** Porcentaje de cambio para las coberturas y el uso del suelo entre los años 1986 a 1998.

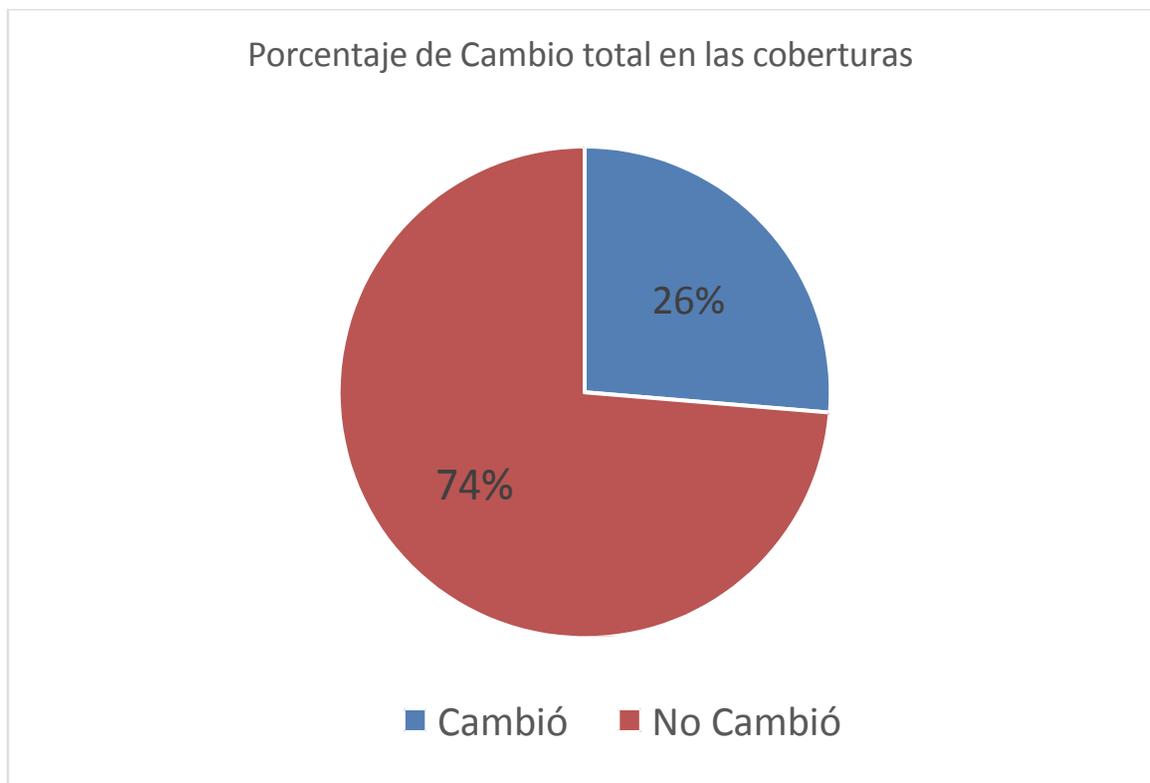
Los análisis multitemporales muestran que los mayores porcentajes pertenecen a las zonas que se mantuvieron estables durante los primeros doce años, como por ejemplo el 34% de los pastos no tuvo ningún cambio y representa el mayor porcentaje de cobertura de área de la zona de estudio con 922 hectáreas. Sin embargo, es importante mencionar que el 11% de los pastos en el año 1986 se transformaron en cultivos para el año de 1998 y tan solo el 4% pasó de cultivos a pastos.

A continuación, se muestran las comparaciones realizadas entre el total de las áreas de todas las coberturas que no cambiaron frente a las que sí tuvieron cambios entre los años 1986 a 1998.



**Figura 18.** Comparación de las áreas que se transformaron de una cobertura a otra, junto con las áreas que se mantuvieron igual entre los años 1986 y 1998.

El mapa de cambios muestra las zonas en las se generó algún tipo de transformación de las coberturas y las zonas que se mantuvieron estables durante los primeros doce años.



**Figura 19.** Porcentaje total de las coberturas que cambiaron o se mantuvieron igual entre los años 1986 y 1998.

De las 2694 hectáreas que pertenecen al área de estudio 1987 ha no presentaron ningún tipo de cambio, sin embargo, 710 ha si tuvieron una transición de cualquier tipo dentro del nivel dos de la clasificación de las coberturas. Esto representa un porcentaje de cambio del 26% frente a un 74% que no cambió. Estos porcentajes de cambios son significativos al relacionarlos con las zonas de cultivos que tuvieron una transición, puesto estas fueron las que tuvieron un mayor cambio con un porcentaje de aumento del 7% en tan solo 12 años. Por lo tanto, del 24% de cambio un 7% corresponde a un aumento en las zonas de cultivos.

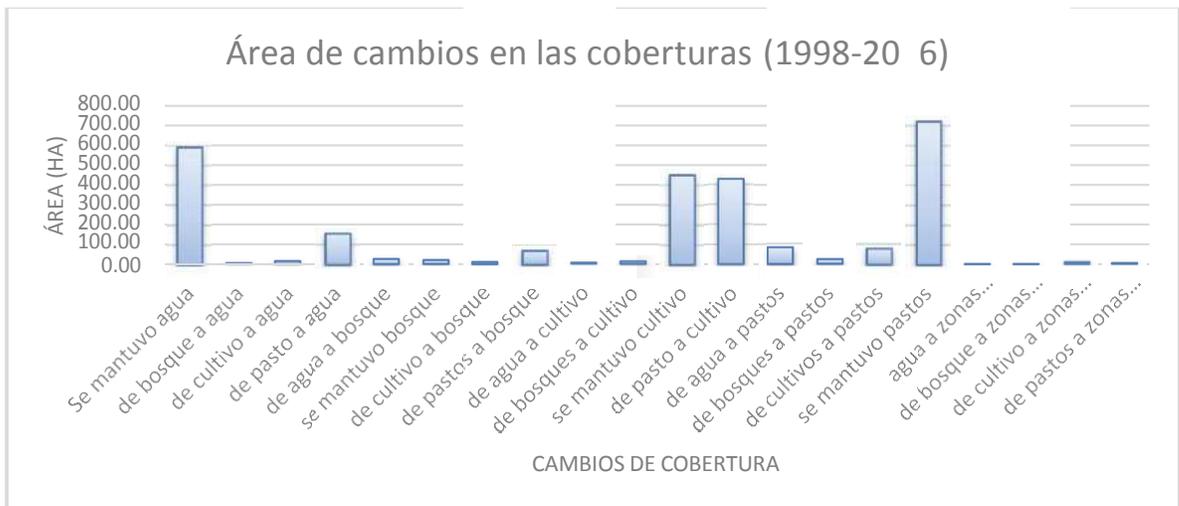
### 2.5.3 Análisis multitemporal 1998-2016



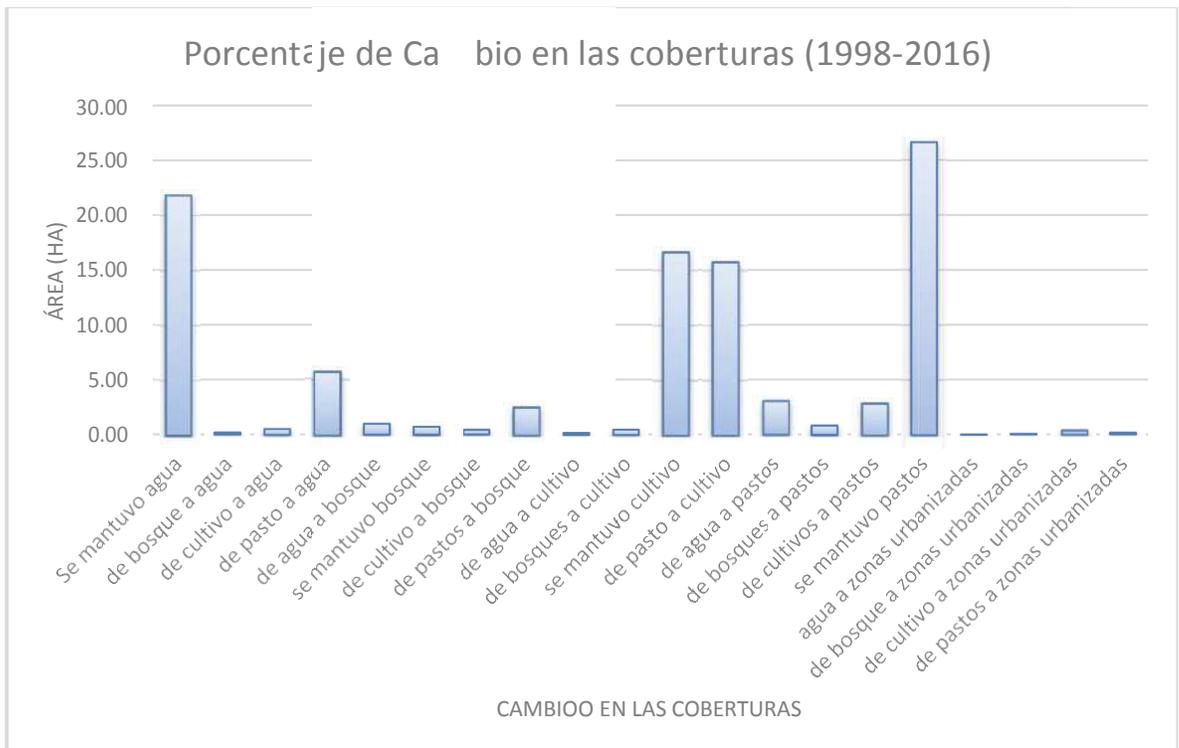
**Figura 20.** Mapa de cambios de las coberturas y usos del suelo para los años 1998 a 2016.

**Tabla 10.** Resumen de los cambios en las coberturas y usos de la tierra desde el año 1998 hasta 2016.

<b>Código</b>	<b>Transformación</b>	<b>Cambio</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje</b>
11	Se mantuvo agua	No Cambió	591,96	21,85
12	de bosque a agua	Cambió	4,95	0,18
13	de cultivo a agua	Cambió	14,54	0,54
14	de pasto a agua	Cambió	155,51	5,74
21	de agua a bosque	Cambió	25,98	0,96
22	se mantuvo bosque	No Cambió	19,23	0,71
23	de cultivo a bosque	Cambió	10,82	0,40
24	de pastos a bosque	Cambió	69,03	2,55
31	de agua a cultivo	Cambió	4,89	0,18
32	de bosques a cultivo	Cambió	12,69	0,47
33	se mantuvo cultivo	No Cambió	451,78	16,68
34	de pasto a cultivo	Cambió	427,57	15,78
41	de agua a pastos	Cambió	81,82	3,02
42	de bosques a pastos	Cambió	22,69	0,84
43	de cultivos a pastos	Cambió	78,32	2,89
44	se mantuvo pastos	No Cambió	721,39	26,63
51	agua a zonas urbanizadas	Cambió	0,58	0,02
52	de bosque a zonas urbanizadas	Cambió	1,23	0,05
53	de cultivo a zonas urbanizadas	Cambió	10,25	0,38
54	de pastos a zonas urbanizadas	Cambió	3,65	0,13
<b>Total</b>			<b>2708,88</b>	<b>100</b>



**Figura 21.** Área de cambio en hectáreas para cada una de las coberturas entre los años 1998 a 2016.

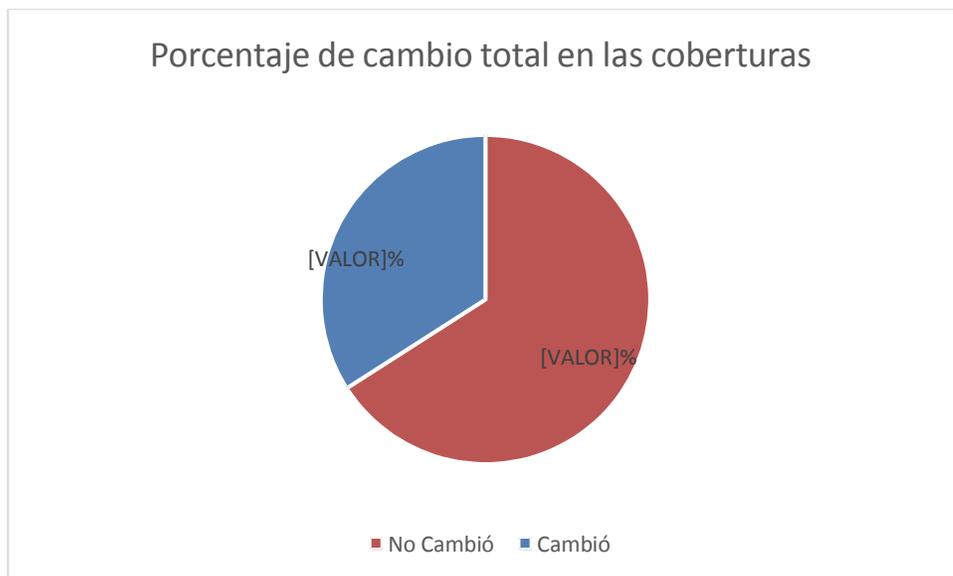


**Figura 22.** Porcentaje de cambio para las coberturas y el uso del suelo entre los años 1998 a 2016.

De igual forma que en el periodo anterior (1986-1998) los mayores porcentajes pertenecen a las zonas que permanecieron estables durante los últimos 18 años, sin embargo, la transición de pastos a cultivos fue del 15,78% en esta ocasión.



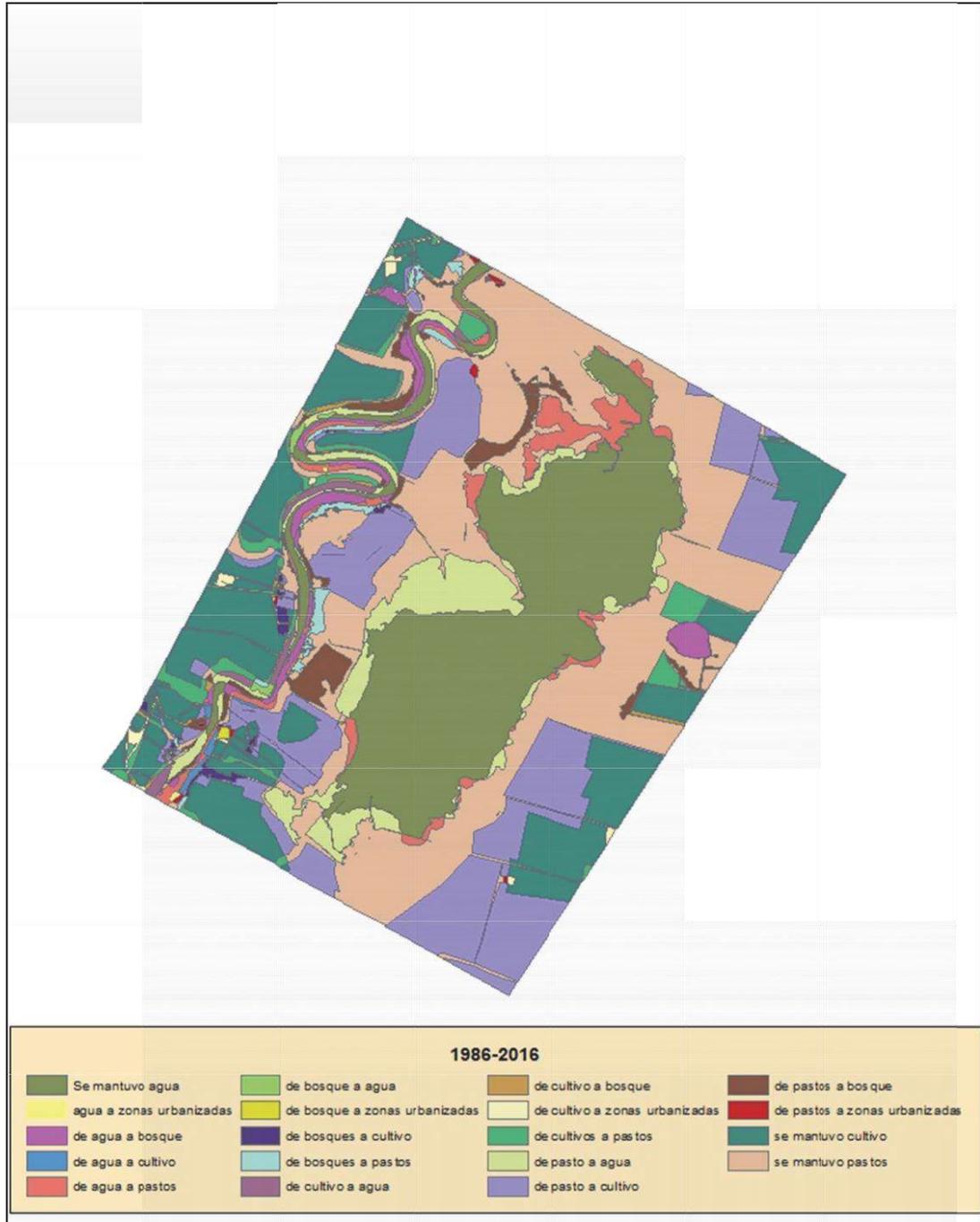
**Figura 23.** Comparación de las áreas que se transformaron de una cobertura a otra, junto con las áreas que se mantuvieron igual entre los años 1998 y 2016.



**Figura 24.** Porcentaje total de las coberturas que cambiaron o se mantuvieron igual entre los años 1986 y 2016.

A diferencia del periodo anterior, en los últimos 18 años hubo un aumento en las zonas que presentaron algún tipo de cambio, 921 ha tuvieron una transición de categoría lo que representan el 34% del porcentaje total de cambio, en contra de un 66% que se mantuvo constante.

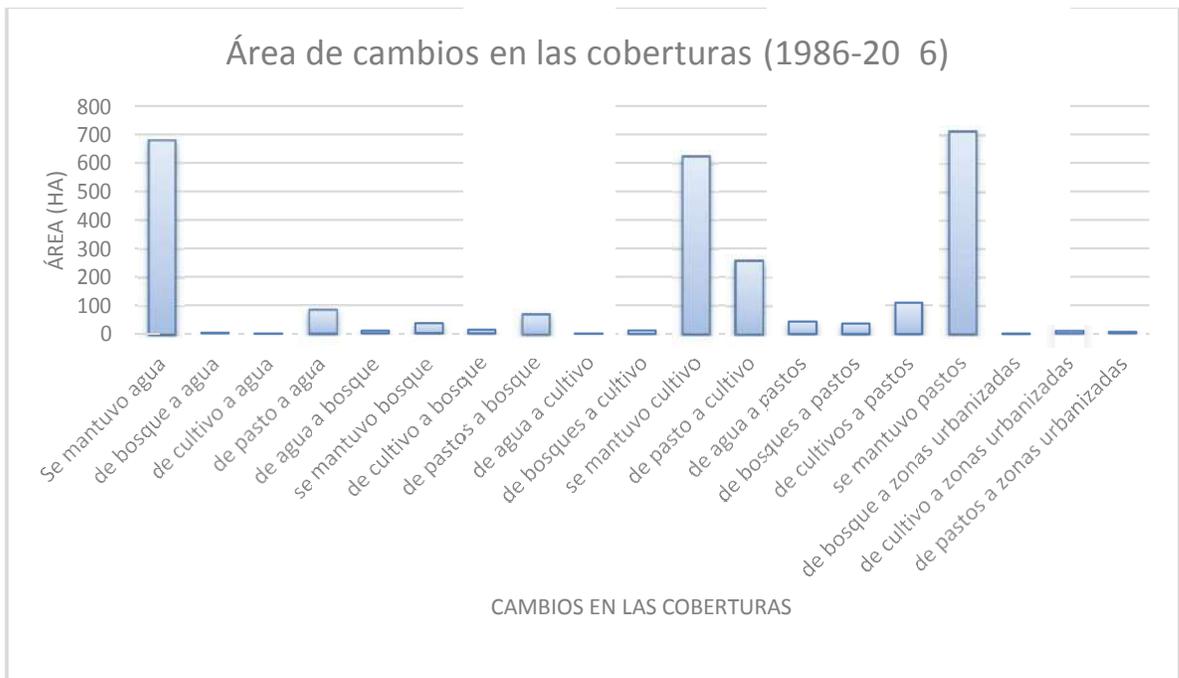
## 2.5.4 Análisis multitemporal 1986-2016



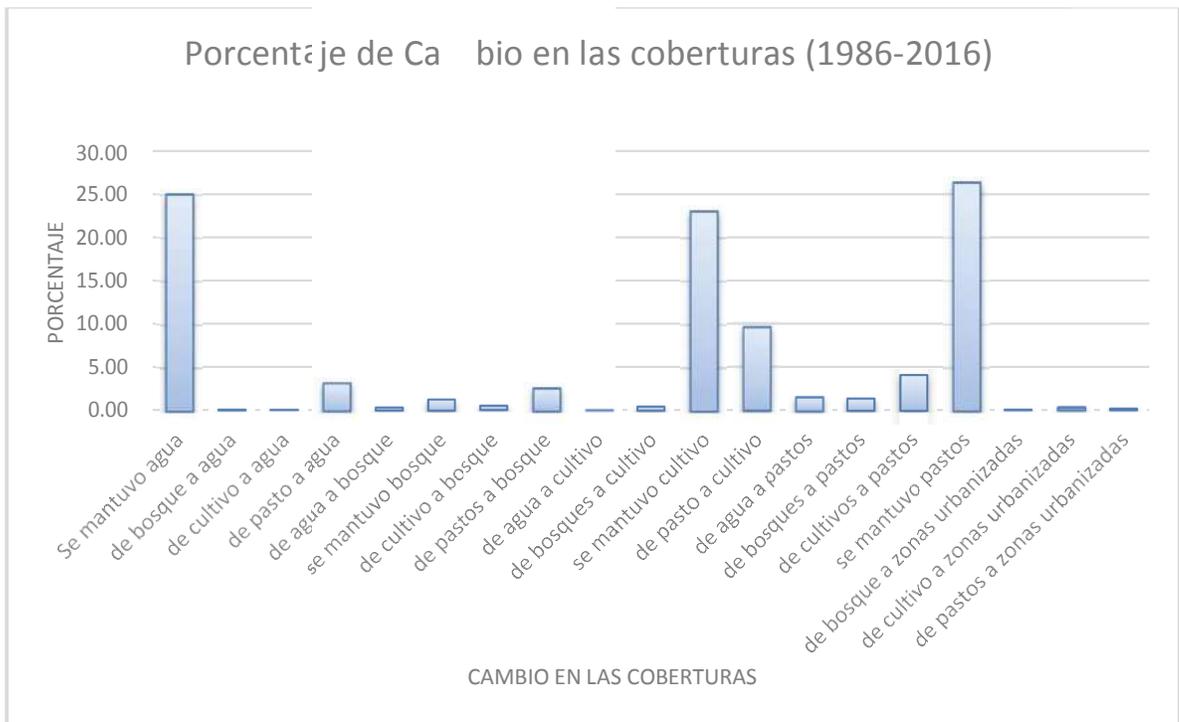
**Figura 25.** Mapa de cambios de las coberturas y usos del suelo para los años 1986 a 2016.

**Tabla 11.** Resumen de los cambios en las coberturas y usos de la tierra desde el año 1986 hasta 2016.

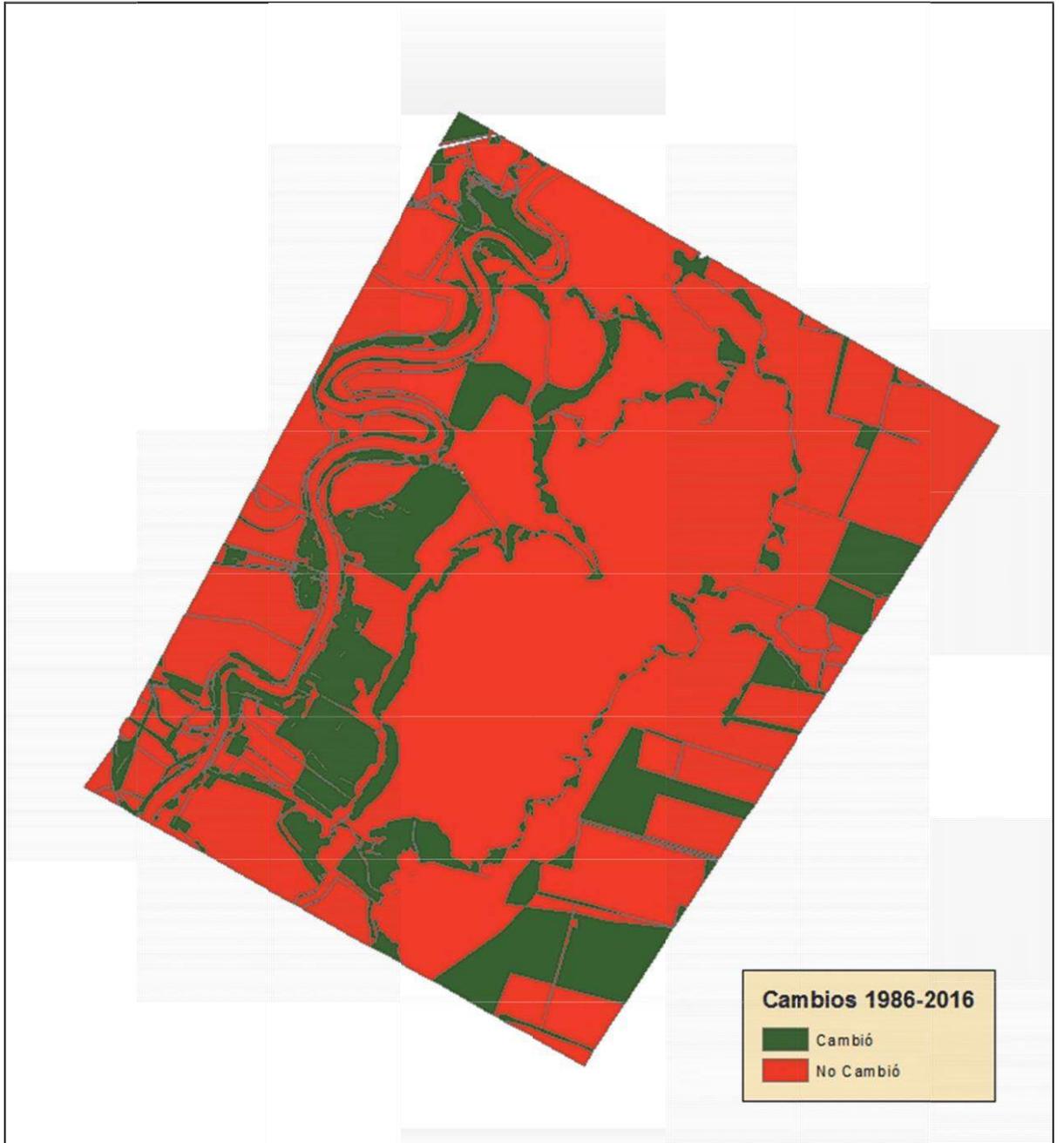
<b>Código</b>	<b>Transformación</b>	<b>Cambio</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje</b>
11	Se mantuvo agua	No Cambió	679,463	25,1
12	de bosque a agua	Cambió	2,0794	0,08
13	de cultivo a agua	Cambió	0,666761	0,02
14	de pasto a agua	Cambió	84,5767	3,13
21	de agua a bosque	Cambió	8,8941	0,33
22	se mantuvo bosque	No Cambió	33,4438	1,24
23	de cultivo a bosque	Cambió	12,3371	0,46
24	de pastos a bosque	Cambió	69,7455	2,58
31	de agua a cultivo	Cambió	0,184228	0,01
32	de bosques a cultivo	Cambió	11,9634	0,44
33	se mantuvo cultivo	No Cambió	625,34	23,11
34	de pasto a cultivo	Cambió	259,729	9,60
41	de agua a pastos	Cambió	43,4559	1,61
42	de bosques a pastos	Cambió	36,3316	1,34
43	de cultivos a pastos	Cambió	109,046	4,03
44	se mantuvo pastos	No Cambió	713,838	26,38
52	de bosque a zonas urbanizadas	Cambió	1,60506	0,06
53	de cultivo a zonas urbanizadas	Cambió	8,73439	0,32
54	de pastos a zonas urbanizadas	Cambió	4,88904	0,18
Total			2706,32	100,00



**Figura 26.** Área de cambio en hectáreas para cada una de las coberturas entre los años 1986 a 2016.



**Figura 27.** Porcentaje de cambio para las coberturas y el uso del suelo entre los años 1986 a 2016.



**Figura 28.** Comparación de las áreas que pasaron de una cobertura a otra, junto con las áreas que se mantuvieron igual entre los años 1986 y 2016.



**Figura 29.** Porcentaje total de las coberturas que cambiaron o se mantuvieron igual entre los años 1986 y 2016.

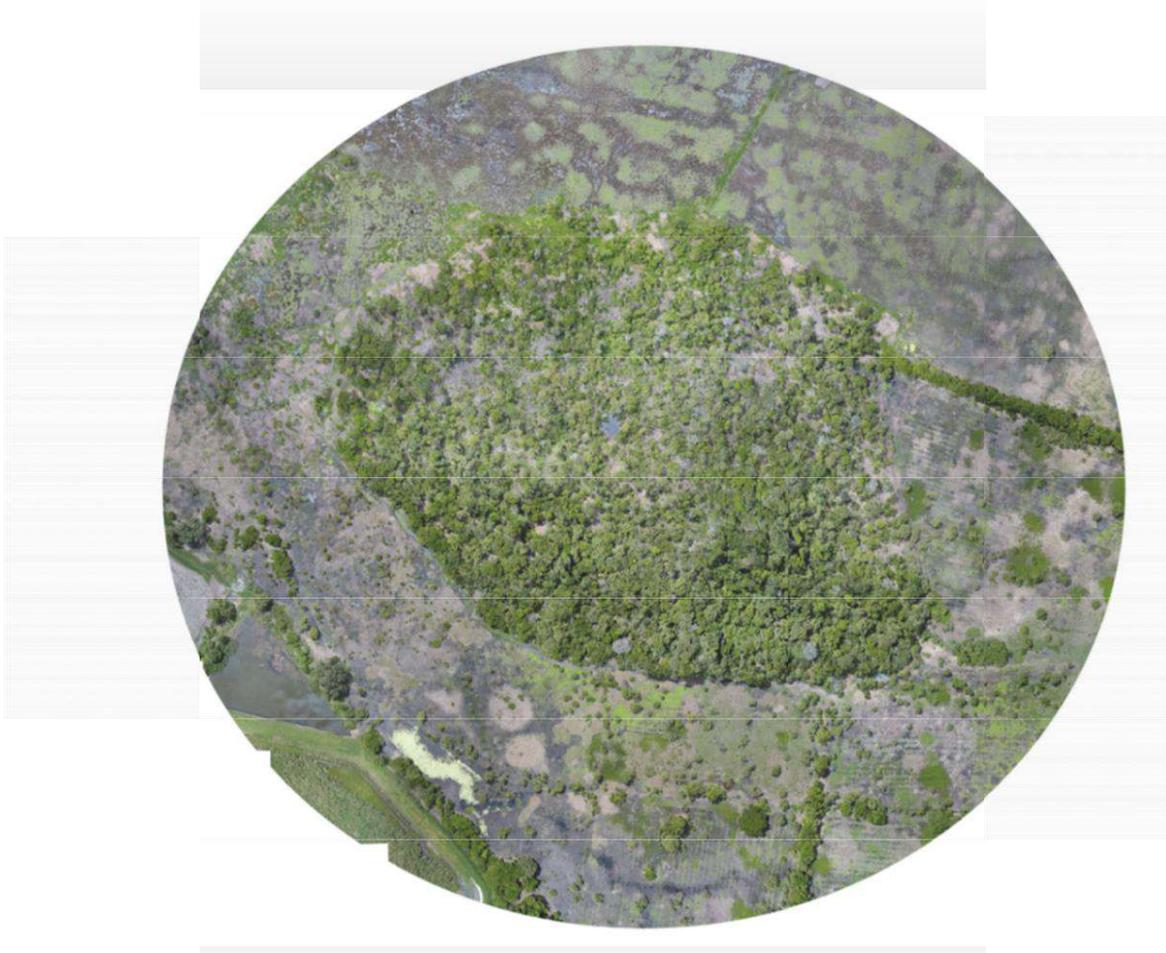
### 2.5.5 Fotomosaicos realizados con la utilización de tecnología UAV (drones)

A continuación, se muestran los dos ortofotomosaicos construidos a través de la utilización de un dron para la toma de las fotografías aéreas. El primer fotomosaico pertenece al predio de La Isabella, este predio se encuentra en poder de la CVC y cuenta con 57 ha de zonas urbanas, bosques y pastos. Las fotografías fueron realizadas en el mes de junio del 2017.

El segundo fotomosaico pertenece al bosque de Las Chatas que cuenta con un área de 10,56 ha en lo que refiere únicamente al bosque, estas fotografías fueron tomadas en el mes de mayo del año 2017.



**Figura 30.** Fotomosaico de La Isabella realizado por medio de UAV.



**Figura 31.** Fotomosaico del bosque de Las Chatas realizado por medio de UAV.

## 2.6 Discusión

El presente estudio realizó una clasificación de las coberturas y usos de la tierra en un área de estudio de 2.694 ha en un referente de tiempo de 30 años utilizando fotografías aéreas de 1986, 1998 y 2016, también busca brindar una mirada hacia el pasado sobre la influencia antrópica en el humedal de la Laguna de Sonso y generar una vista de prospección hacia el futuro desde el comportamiento del pasado, analizando las tendencias obtenidas durante los respectivos 30 años.

Para empezar, de un total de 2.694 ha (área de estudio) las zonas de bosque en 1986 cubrían un área de 59 ha que 12 años más tarde el tamaño de dichos territorios aumento hasta 83,5 ha para convertirse 18 años después en 116,9 ha. Esto nos muestra un aumento en las coberturas vegetales referentes a zonas boscosas, que puede explicarse desde varias perspectivas, una de ellas es que como medida de prevención y conservación hacia estos territorios algunas corporaciones y entidades del estado han optado por comprar, o apoderarse de diversos predios con el fin de crear programas de restauración que posibiliten la recuperación de los bosques por medio de la regeneración natural, Esto fue uno de los lineamientos establecidos dentro del plan de manejo de la Laguna de Sonso.

Uno de los lugares en los cuales se optó por desarrollar la regeneración natural, fue el predio “La Isabella” que en estos momentos se encuentra en poder de la CVC, los resultados de este estudio muestran una regeneración del bosque significativa. Esto puede apreciarse en los fotomosaicos de los años 1986 y 1998, en donde se muestra que este territorio se encontraba en un principio como pastos arbolados y enmalezados, pero tanto en el fotomosaico Landsat del 2016 y la del 2017 creada a partir de la utilización de un drone (figura 30) muestran la transformación a territorios boscosos, esta transformación sirve como indicador de que los esfuerzos de restauración de la corporación autónoma están dando resultado y han sido capaces de restablecer parte del bosque que ha perdido dentro del humedal. También muestra un indicador del correcto funcionamiento de los lineamientos referentes a este sector que fueron establecidos en el plan de manejo.

La regeneración natural del bosque en la zona de La Isabella muestra que si se sigue llevando a cabo el plan de manejo muchas de los lugares que han sido impactados por la agricultura pueden recuperarse hay que buscar las formas de potencializar los esfuerzos de restauración que se han planteado, con el fin de recuperar una mayor área de bosques que pueda ser comparable con las hectáreas de cultivos que hay.

Los resultados muestran que en la zona sur-oeste no se está cumpliendo lo estipulado en el acuerdo No. 16 de 1979 que reglamenta las actividades de uso en la zona de la reserva, en donde se debe mantener una franja de protección del espejo de agua de 40 metros, sino que por el contrario la actividad agropecuaria se extiende hasta los límites del área lagunar, dentro del plan de manejo se estipuló también que el espejo de agua debía mantener esta franja de protección de 40 metros, en donde se encontrarán especies de plantas nativas que facilitaran el sostenimiento del cuerpo de agua. Se sugiere recuperar estas franjas de protección del espejo lagunar puesto que se está afectando de manera significativa las características y funciones ambientales de la laguna.

El bosque referente a la zona de estudio muestra un crecimiento en área del doble de su tamaño inicial, lo cual quiere decir que las coberturas boscosas han aumentado dos veces su tamaño en un periodo de tiempo de 30 años, siguiendo estos resultados se puede asumir que el bosque se encuentra en una etapa de crecimiento, en medida que se aumenten los esfuerzos de recuperación del bosque y se establezcan planes de ordenamiento más claros el proceso de recuperación del humedal puede generar mayores resultados de aquí en 30 años (Bolaños, 2017).

Es importante considerar que en referente a zonas boscosas su conservación y restauración ha sido provechosa, sin embargo, si se comparase la regeneración y conservación del bosque con las zonas afectadas por los efectos antrópicos los resultados serían entristecedores. Ya se comprobó que en referencia a 30 años atrás las coberturas boscosas han aumentado por la acción de la corporación regional autónoma, ahora es imprescindible potencializar el efecto de recuperación en un área mucho mayor para que el impacto sea mucho más fuerte en un futuro.

En el plan de manejo de la Laguna de Sonso se establecieron para el año 2013 31,8 hectáreas referentes a coberturas boscosas que son equivalentes al 1,6 % del área total perteneciente al DMRI (2.190 hectáreas en total) y se determinó que existía un déficit de coberturas boscosas, en este documento, aunque el área de estudio es mayor (2.659 hectáreas) para el año 2016 se encontraron 116 ha de coberturas boscosas que equivalen a un 4% del área total. Aunque se muestra un aumento en las coberturas boscosas, sigue existiendo un déficit en estas coberturas y debe tenerse en cuenta que uno de los objetivos de conservación estipulados en el plan de manejo fue el de asegurar la continuidad de los procesos ecológicos y el flujo genético necesario para preservar la biodiversidad biológica.

Es importante recalcar que en plan de manejo de la Laguna de Sonso se realizó una zonificación en la cuenca de captación, donde se incorporaron tres áreas, una de conservación otra de restauración y una de producción sostenible, para las cuales se establecieron los usos y restricciones de acuerdo con el Ministerio del Ambiente (Peck, 2007), pero que según los resultados obtenidos las coberturas presentes no corresponden a las dictaminadas por el plan de manejo, en donde

zonas de conservación o restauración presentan áreas de agricultura, por ende se sugiere monitorear de manera más estricta los lineamientos estipulados en el plan de manejo.

Por otro lado, las aguas continentales que refieren a el espejo de agua de la laguna, el río Cauca y los canales muestran un aumento de 27 ha en los primeros 12 años (1986-1998) y 34 ha para los 18 años siguientes (1998-2016). Sin embargo, es muy difícil realizar inferencias sobre estos valores, puesto que se encuentran relacionados muy estrechamente con otras variables como lo son la época en la cual fueron realizados los fotomosaicos y las circunstancias climatológicas como la precipitación y la temperatura (González & González, 2015), esto quiere decir que el tamaño de la laguna va a depender de la época en la cual se tomó la fotografía, si fue época de fuertes lluvias o sequías. Desafortunadamente esta información no se encontró disponible para la investigación, de tal manera que se hace imposible aseverar que la cantidad de agua en la laguna ha aumentado con respecto a los años anteriores, puesto que unas fotografías pudieron ser tomadas en época lluviosa y otras en época seca. En conclusión, el aumento en las coberturas de agua puede deberse a las circunstancias ambientales en las cuales fueron tomadas.

Un factor importante en el estudio es que para los primeros 12 años (1986-1998) un 0,52% del área total de estudio pasó de ser bosque a convertirse en cultivo y de igual forma un 0,26% pasó de cultivo a bosque, en otras palabras, es mayor la cantidad de bosques que se vuelven cultivos comparado con los territorios de cultivos que se vuelven bosques, esto indica que el aporte al crecimiento de los bosques no proviene de las zonas de cultivos.

Los cultivos permanentes así mismo como las coberturas de bosques, aumentaron de 563 ha a 751 ha desde 1986 a 1998 y de 1998 al 2016 aumentaron hasta 897 ha con un porcentaje de crecimiento de 2,11% para bosques y de 13% para cultivos permanentes, el aumento en las zonas de cultivo se asocia cada vez más a la industrialización y el crecimiento de los grandes ingenios principalmente cañeros. En general las zonas utilizadas para cultivos en el perímetro de la laguna cosechan caña de azúcar, haciéndolo el tipo de cultivo predominante (CVC, 2007).

El aumento de los cultivos es una de las amenazas antrópicas más fuertes para estos ecosistemas (CVC, 2007), pues implica la construcción de diques, el drenaje de la laguna, la contaminación por el uso de fertilizantes y plaguicidas. Todos estos factores generan un impacto sobre el ecosistema, “pues la estabilidad del funcionamiento de un ecosistema aumenta con su diversidad a diferentes escalas desde el stand hasta el paisaje y la región” (Oesterheld, 2008). El incremento de estas áreas de cultivos se relaciona fuertemente con la disminución de los pastos (tabla 8), por lo tanto, los cultivos se encuentran ganándole territorio en mayor medida a las coberturas de pastos.

Los resultados muestran una tendencia a aumentar las zonas de cultivos junto con la afección del humedal lo que sugiere un fuerte llamado a las corporaciones para regular de manera adecuada el manejo del territorio y controlar el impacto del sector agroindustrial en la laguna.

Los resultados que se encuentran en la tabla 8 para el año 2016 muestran que las coberturas de mayores áreas hacen referencia a los territorios agrícolas (pastos y cultivos) con valores de área ocupada de 899 y 897 respectivamente. Lo cual significa que los pastos y cultivos son las coberturas predominantes, en términos de porcentaje las áreas de cultivos para el año 2016 representan un 33% del área de estudio, que comparado con las zonas de bosque que son del 4%, los cultivos presentan valores muy altos, reflejando que sirven también como indicadores de problemas de ordenamiento ambiental y del territorio, perjudicando el desarrollo del uso sostenible de los recursos naturales (Díaz, 2001).

Las coberturas de pastos generalmente se relacionan con zonas de ganadería y en los humedales con zonas de amortiguamiento (IDEAM, 2010). Aunque también existen zonas de pastos que se encuentran arbolados o en regeneración temprana, estas zonas son importantes para la regeneración natural de los bosques.

Para los análisis multitemporales en un periodo de tiempo de 12 años que abarca desde el año 1986 hasta 1998 se muestra dentro de los resultados obtenidos que el 16% del área total de estudio logró mantenerse como zona agrícola y el 11% de lo que era antes considerado pastos pasó a convertirse en zonas agrícolas, esto quiere decir que aproximadamente el 27% del área de estudio son territorios agrícolas.

En la figura 26 se observa que la razón de que los pastos hayan disminuido en su área es debido a que una gran parte se ha transformado en zonas de agua continentales y cultivos, esto es debido a que las zonas más cercanas al espejo de agua de laguna varían su cobertura dependiendo de los niveles de inundación y la creciente de la laguna, entonces las zonas de pastos pueden convertirse en aguas dependiendo de las circunstancias, por ejemplo en la figura 26 se muestra que un 4% de los pastos se transformaron en aguas continentales.

En 1979 se dividió la zona de reserva de la laguna en área lagunar y área amortiguadora, en donde el área lagunar comprende una extensión de 745 Ha aproximadamente y la zona de amortiguación un área de 1.300 (Peck, 2007). Por lo tanto, las áreas próximas al espejo de agua deben representar zonas de amortiguamiento que generalmente se componen de coberturas como pastos o gramíneas, vegetación anfibia y especies de plantas de sucesión temprana (University of Wollongong, 2001). La importancia de estas zonas de amortiguación es que son vitales en función de que impiden fuertes inundaciones y regulan el flujo de agua en los humedales, también representan una gran parte de la

biodiversidad de los humedales y funcionan como áreas de transición. Sin embargo, en la imagen 25 se puede observar que una gran parte de las zonas aledañas a la laguna que representan las áreas de reserva, han sido transformadas a zonas agrícolas durante estos últimos treinta años. Las consecuencias de esta transformación son la desaparición del ecotono, la pérdida de biodiversidad, la ausencia de regeneración natural y aumenta la posibilidad de sufrir fuertes inundaciones.

Las fuertes inundaciones conllevan a la construcción de muchos más diques que a su vez abarcan una mayor área e impiden la regeneración natural del ecosistema y la recuperación de su dinámica natural.

Por ende, se hace sumamente importante la recuperación y el restablecimiento de las zonas de transición del humedal evitando la entrada del sector agrícola en las áreas de recuperación tal y como se plantea en el plan de manejo, de esta forma se lograría disminuir el impacto antrópico, dando la posibilidad a que la regeneración natural actúe.

Las figuras 22 y 23 nos muestran el porcentaje de cambio total, una comparación entre todas las coberturas que cambiaron frente a las coberturas que no cambiaron. Para el periodo de tiempo de 1986 a 1998 se obtuvo un porcentaje de cambio del 26%. Para el periodo de 1998 al 2016 se obtuvo un cambio del 34%. Esto nos muestra una idea de cómo se va dando la transformación del paisaje y como van cambiando las coberturas a través del tiempo. El índice de transformación del paisaje desde 1986 al 2016 es del 24%, dejando por sentado que la transformación del paisaje es un hecho real, los ecosistemas se encuentran en constante cambio, pero depende de nosotros regular esos cambios si son positivos o negativos para el humedal.

Por otro lado, encontramos el bosque de Las Chatas que es un relicto de bosque importantísimo para la conectividad del paisaje, pues es uno de los fragmentos de bosque más grande dentro del humedal y su importancia reside en su historia, pues ha logrado mantenerse constante durante mucho tiempo (mucho más de 30 años), teniendo en cuenta el lugar en el cual se encuentra ubicado y la fuerte amenaza antrópica que presenta, pues está rodeado casi que totalmente de cultivos. En la figura 29 se puede observar que el bosque de Las Chatas, aunque es una zona de conservación no se encuentra totalmente intacto, muestra señales de algún tipo de intervención negativa. Es importante seguir manteniendo este relicto de bosque, pues funciona como lugar de paso de gran cantidad de fauna y conecta mediante cercas vivas una gran parte del paisaje.

Como observación se puede afirmar que si la tendencia de cambio continua tal y como se viene presentando hasta el momento lo que procede es la desaparición de la zona de transición y amortiguación por parte de la invasión de los cultivos agrícolas, la homogenización del paisaje, la disminución del espejo lagunar por el

drenaje de la laguna, la construcción de carreteras de diques y la permanencia de algunos relictos de bosques como las chatas y los que logren regenerarse naturalmente que se encuentren en manos de alguna entidad en pro del medio ambiente.

Por ende, su conservación no es una tarea de las entidades gubernamentales. Como patrimonio nacional y mundial al ser declarado zona RAMSAR, es un trabajo de concientización de los cazadores furtivos, de los de la industria cañera y agrícola y de todas las personas en general que estén o no vinculadas con el humedal de la Laguna de Sonso.

## **2.7 Utilización de los drones como herramienta de fotogrametría**

La utilización de drones en este estudio permitió obtener imágenes aéreas que nos brindaran el estado actual de algunas zonas de interés sobre las cuales se han venido desarrollando algunas estrategias de restauración como en La Isabella o que se han logrado conservar durante mucho tiempo como es el caso del bosque de Las Chatas. Esto permite también relacionar imágenes aéreas anteriores con las actuales para determinar el estado del cambio de estos bosques y realizar un monitoreo de los procesos de restauración.

Realmente las imágenes obtenidas por drones no funcionan como un remplazo de las aerofotografías o fotografías satelitales, sino más bien como un complemento, debido a que ambos presentan factores a favor y en contra, que vinculándolos de algún modo muestran una sinergia muy interesante. En cuanto a los drones las ventajas de trabajar con ellos, es que pueden realizar muchos sobrevuelos del área de interés cada vez que se desee, con ellos también se puede armar la geometría de la captura de la imagen como se desee, la resolución puede cambiar dependiendo del objetivo del estudio y de la altura de vuelo, en conclusión, los drones son una herramienta que brindan versatilidad y evitan problemas climáticos como la alta nubosidad y la interferencia, en caso de lluvias se limita a esperar que se detenga para realizar los sobrevuelos.

Sin embargo, los satélites logran abarcar áreas mucho mayores, siendo esto una tarea realmente muy complicada para un dron. Sin embargo, los drones mostraron excelentes resultados en área pequeñas, pero no son recomendables para áreas mayores a 500-700 ha. Los drones proporcionan al igual que algunos satélites, imágenes de alta resolución, estas imágenes de satélites se encuentran disponibles de manera gratuita en muchos portales de internet, aunque es difícil en muchos casos que esta información este para el área de interés en donde se desea trabajar, por ende, para los drones la ventaja es que se pueden obtener estas imágenes de alta resolución para cualquier lugar que se desee estudiar. Otra de las ventajas de los drones es que al ser tan versátiles pueden realizar

varias fotografías del mismo lugar a diferentes horas del día y pueden cargar cámaras infrarrojas para realizar agricultura de precisión que es una de las áreas más desarrolladas en este momento, aprovechando los potenciales de los drones.

Otro importante aporte de los drones en este estudio es la facilitación del trabajo de campo, puesto que permitió llegar a lugares de difícil acceso y verificar muchas de las coberturas que se tenían en duda. Aunque no parezca el reconocimiento de áreas de difícil acceso es vital, no únicamente para reconocimiento del territorio sino para planes de ordenamiento y manejo de él; por otro lado, facilita enormemente el esfuerzo de trabajo y brinda información muy valiosa en forma de fotografías aéreas para posteriores análisis.

Otra de las funciones de los drones que se visualizó en el desarrollo de este proyecto fue la de poder realizar monitoreos constantes de programas de restauración, o de seguridad ambiental como la detección de construcciones en lugares no permitidos, de cultivos ilícitos y de cazadores furtivos.

Los drones son una tecnología que se encuentra en un alto nivel de desarrollo, generando así una alta gama de posibilidades para utilizarlos como herramientas en función del beneficio de la conservación y la restauración.

## 2.8 CONCLUSIONES

1. Los cambios en las coberturas y usos del suelo muestran un panorama de la dinámica del ecosistema y sirven como indicadores del ordenamiento del territorio y el uso sustentable que se lleva a cabo en estos ecosistemas. Se muestra que los territorios agrícolas están generando un fuerte impacto sobre la dinámica del ecosistema, pues la agricultura ha ido aumentando su cobertura en esta ventana de 30 años, permitiendo la transformación de los ecosistemas hacia mosaicos cada vez más homogéneos, donde se pone en riesgo la diversidad del paisaje.
2. Se encontraron zonas de cultivos en el área de reserva de la laguna en donde según el plan de manejo no deberían estar, también el incumplimiento de la franja protectora del espejo de agua (40m) en la zona sur-oeste de la Laguna. Por ende es necesario un mayor control sobre los lineamientos establecidos en el plan de manejo de la Laguna de Sonso.
3. Las coberturas boscosas han aumentado su área, de manera que las estrategias de restauración y conservación empleadas por la corporación regional están siendo exitosas, generando un impacto positivo sobre dichas coberturas.
4. El bosque de las chatas al ser un área de conservación y protección ha mantenido su tamaño durante mucho tiempo (11 ha), pero aunque su tamaño se mantiene su estado no, este relicto de bosque muestra en los fotomosaicos que ha sido sumamente intervenido, lo cual hace necesario tomar medidas de prevención.
5. Explorar nuevas tecnologías para la toma de información cartográfica y el desarrollo de planes de ordenamiento, con la utilización de diferentes herramientas tecnológicas como los UAV, pues funcionan de manera eficiente en áreas pequeñas y permiten desarrollar estudios en tiempo real con una mayor frecuencia y de forma más económica.

## 2.9 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar estudios más profundos que puedan proporcionar información sobre la fragmentación y conectividad del paisaje, permitiendo así generar información sobre la dinámica del paisaje y la identificación de zonas estratégicas de conservación vitales para el paso de fauna y el sostenimiento de la biodiversidad.
2. Se sugiere la implementación más estricta de los lineamientos establecidos en el plan de manejo para la Laguna de Sonso, para que se respeten las áreas de protección del humedal en las que se encuentran las zonas de transición y amortiguamiento, permitiendo así la recuperación del ecotono perdido y la restauración de la dinámica natural del humedal.
3. Es importante definir previamente las escalas del trabajo y los productos deseados para el estudio de las coberturas, en especial si se desea trabajar con la metodología de CLC.
4. Se recomienda el monitoreo de las obras de infraestructura, para solucionar problemas de inundación permitiendo que se restablezca la zona de transición y amortiguación del humedal con el fin de disminuir el impacto de las inundaciones y restablecer la dinámica natural del ecosistema.

### 3 BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Garavito M. y W. Ramírez (eds.) 2015. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá D.C., Colombia. 250 pp.
- Aguilar-Garavito M. y W. Ramírez (eds.) 2015. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá D.C., Colombia. 250 pp.
- Alvarado-solano, D. P., Tupac, J., & Ospina, O. (2015). DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL BOSQUE SECO TROPICAL EN EL VALLE DEL CAUCA , COLOMBIA Spatial Distribution of Tropical Dry Forest in Valle Del Cauca , Colombia, *20*(3), 141–153.
- Aune-Lundberg, L., & Strand, G.-H. (2010). CORINE LAND COVER 2006, Norwegian Forest and Landscape Institute.
- Bolaños, H. (2017). laguna de sonso es ahora sitio ramsar y humedal de importancia internacional. Retrieved from <https://www.cvc.gov.co/index.php/carousel/2631-laguna-de-sonso-es-ahora-sitio-ramsar-y-humedal-de-importancia-internacional>
- Carretero, S. (2015). Modelos digitales del terreno mediante fotogrametría realizada con un vehículo aéreo no tripulado, universidad politécnica de madrid.
- Chuvieco, E. (1995). *FUNDAMENTOS DE TELEDETECCION ESPACIAL*. (Ediciones RIALP, Ed.) (Segunda). Madrid. Retrieved from <http://files.especializacion-tig.webnode.com/200001110-8750e88486/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>
- Conde, J. J., & Moreno, Y. S. (2016). ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA DEL SUELO UTILIZANDO MEDOLOGÍAS VCS Y CORINE LAND COVER CASO DE ESTUDIO. *Universidad de Manizales*.
- Cuerno, C. (2015). Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil. *Los Drones Y Sus Aplicaciones a La Ingeniería Civil*, 77–94.
- Cueva, J., & Chalán, L. (2010). Cobertura vegetal y uso de suelo de la Provincia de Loja. *Naturaleza Y Cultura Internacional*, 1–44.
- CVC. (2007). Plan de manejo ambiental integral-humedal laguna de sonso-

Municipio de Guadalajara de Buga, 361.

Díaz, M. (2001). ECOLOGÍA EXPERIMENTAL Y ECOFISIOLOGÍA : BASES PARA EL USO SOSTENIBLE LAS ZONAS ÁRIDAS NEO-TROPICALES. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 8.

Franco, R. (2016). Análisis multitemporal vectorial en arcgis, p. 12.

García, A. (2011). Landsat. *Sistemas de Comunicación via Satélite*, 1–40. Retrieved from [https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.../LANDSAT\\_Garcia\\_UVIGO.pdf](https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.../LANDSAT_Garcia_UVIGO.pdf)

García-cervigón, D., & José, J. (2015). Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS / RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión .

GONZÁLEZ, N. E., & GONZÁLEZ, A. L. (2015). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL ESPEJO DE AGUA EN LA LAGUNA DE FÚQUENE PARA EL PERIODO DE 1985 A 2015*. Universidad de Manizales. Retrieved from [http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/2507/1/Gonzalez\\_Adriana\\_2015.pdf](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/2507/1/Gonzalez_Adriana_2015.pdf)

Greenwood, F., Cressman, K., Allen, W., Quiroz, R. A., Hall, O., Archila, F., & Jeanneret, C. (2016). Drones para la agricultura. *ICT*, 82, 28. Retrieved from [http://ictupdate.cta.int/wp-content/uploads/sites/5/2016/11/ICT\\_82\\_SPA\\_LR.pdf](http://ictupdate.cta.int/wp-content/uploads/sites/5/2016/11/ICT_82_SPA_LR.pdf)

IDEAM. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra*.

IDEAM et al. (2009). Análisis de dinámicas de cambio de las coberturas de la tierra en Colombia,.

IDEAM, IGAC, & CORMAGDALENA. (2008). *Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de la Magdalena (Vol. 1).

Londoño, M. (2008). Arquitectura en torno a humedales, 1–104.

Meli, P. (2003). Restauración ecológica de bosques tropicales. Veinte años de investigación académica. *Interciencia*, 28(10)(January 2003), 581–589.

Ministerio del Ambiente Perú. (2009). PROYECTO ANALISIS DE LAS DINAMICAS DE CAMBIO DE COBERTURA DE LA TIERRA EN LA COMUNIDAD ANDINA. Retrieved from

<http://geoservidor.minam.gob.pe/intro/monitoreo/cobertura-y-uso-de-la-tierra-cordine-7.html>)

- Oesterheld, M. (2008). Impacto de la agricultura sobre los ecosistemas. Fundamentos ecológicos y problemas más relevantes. *Ecología Astral*, 337–346. Retrieved from <http://www.scielo.org.ar/pdf/ecoaus/v18n3/v18n3a07.pdf>
- Ortiz-Reyes, A. D., Valdez-Lazalde, J. R., De los Santos-Posadas, H. M., Ángeles-Pérez, G., Paz-Pellat, F., & Martínez-Trinidad, T. (2015). Inventario y cartografía de variables del bosque con datos derivados de LiDAR: Comparación de métodos. *Madera Y Bosques*, 21(3), 111–128.
- Paneque-Gálvez, J., McCall, M. K., Napoletano, B. M., Wich, S. A., & Koh, L. P. (2014). Small drones for community-based forest monitoring: An assessment of their feasibility and potential in tropical areas. *Forests*, 5(6), 1481–1507. <https://doi.org/10.3390/f5061481>
- Peck, R. (2007). PLAN DE MANEJO AMBIENTAL INTEGRAL HUMEDAL LAGUNA DE SONSO MUNICIPIO DE GUADALAJARA DE BUGA, 278.
- Pizano, C., & García, H. (2014). *EL BOSQUE SECO TRÓPICAL EN COLOMBIA*.
- Ponce, E. (2004). *HUMEDALES Designación de sitios Ramsar en territorios de grupos étnicos en Colombia*.
- Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010. Uso racional de los humedales: Conceptos y enfoques para el uso racional de los humedales. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 1. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). Sarría, F. A. (n.d.). Sistemas de Información Geográfica. In UNiversidad de Murcia (Ed.), *Sistemas de Información Geográfica* (p. 239). Retrieved from <http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>.
- Tobasura, I. (2006). La Laguna de Sonso - Valle del Cauca, Colombia: Más de tres décadas de lucha ambiental. Un caso de historia ambiental. *Gestión Y Ambiente*, 9(2), 13–26.
- Tobergte, D. R., & Curtis, S. (2013). Homologacion De La Laguna De Sonso O El Chircal Como Area Protegida Publica Bajo Los Lineamientos Del Decreto 2372 De 2010 En El Municipio De Buga, Valle Del Cauca. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Torres et al. (2012). Dinámica sucesional de un fragmento de bosque seco tropical del Valle del Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 13(Especial de bosques secos en Colombia), 258.

Unesco. (2012). Análisis y modelación de deforestación para los años 1990, 2000 y 2010 en el corredor Manu-Amarakaeri, 43.

University of Wollongong. (2001). Wetlands. In *Wetlands* (CRC Press, Vol. 1, p. 26).

Torres Rojo, J. Manuel; Magaña Torres, Octavio S.; Moreno Sánchez, Francisco predicción del cambio de uso/cobertura arbolada en México a través de probabilidades de transición, *Agrociencia*, vol. 50, núm. 6, agosto-septiembre, 2016, pp. 769-785 Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.