

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL EFECTO DEL CAMBIO DE LA COBERTURA  
Y USO DEL SUELO SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS COMO  
HERRAMIENTA PARA LA CONSERVACIÓN EN EL HUMEDAL GUALÍ TRES  
ESQUINAS, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE FUNZA (CUNDINAMARCA)

ROBINSON JAIME CARVAJAL GARAVITO  
ANDRÉS FELIPE NIÑO RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C  
2021

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL EFECTO DEL CAMBIO DE LA COBERTURA  
Y USO DEL SUELO SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS COMO  
HERRAMIENTA PARA LA CONSERVACIÓN EN EL HUMEDAL GUALÍ TRES  
ESQUINAS, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE FUNZA (CUNDINAMARCA)

ROBINSON JAIME CARVAJAL GARAVITO  
ANDRÉS FELIPE NIÑO RODRIGUEZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTORA  
YENNY BEATRIZ MENDOZA PLAZAS  
Agróloga MSc Suelos y Aguas

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C  
2021

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bogotá 26 Julio 2021

Escribe aquí tu dedicatoria  
A Colombia.

## AGRADECIMIENTOS

Dedicamos este documento a quienes fueron partícipes del proceso formativo.

## CONTENIDO

|                                                                                                              | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| RESUMEN.....                                                                                                 | 11   |
| ABSTRACT .....                                                                                               | 133  |
| 1. INTRODUCCIÓN.....                                                                                         | 14   |
| 2. OBJETIVOS .....                                                                                           | 166  |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL.....                                                                                    | 16   |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                                              | 166  |
| 3. ANTECEDENTES.....                                                                                         | 17   |
| 4. MARCO TEÓRICO .....                                                                                       | 19   |
| 4.1 HUMEDALES Y SERVICIOS AMBIENTALES QUE OFRECEN .....                                                      | 19   |
| 4.1.1 Clasificación de los servicios ecosistémicos.. .....                                                   | 20   |
| 4.1.2 Importancia en la prestación de servicios ecosistémicos. ....                                          | 21   |
| 4.1.3 Servicios ecosistémicos que presta el humedal Gualí-Tres Esquinas. ....                                | 22   |
| 4.2 ALTERACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS .....                                                          | 23   |
| 4.3 ALTERACIONES ASOCIADAS A CAMBIO DE COBERTURA.....                                                        | 24   |
| 4.3.1 Urbanización.:.....                                                                                    | 25   |
| 4.3.2 Contaminación.....                                                                                     | 25   |
| 4.3.3 Expansión de la frontera agrícola .....                                                                | 26   |
| 4.4 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL ALREDEDOR DEL HUMEDAL .....                                                       | 27   |
| 5. METODOLOGÍA.....                                                                                          | 29   |
| 5.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....                                                                         | 30   |
| 5.1.1 Descripción y cambio de cobertura del suelo. ....                                                      | 31   |
| 5.1.2 Análisis estadístico de la variación de las coberturas.....                                            | 31   |
| 5.2 VALORACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS CON<br>RESPECTO AL CAMBIO DE LA COBERTURA..... | 32   |
| 5.3 ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN.....                                                                         | 32   |
| 6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....                                                                   | 33   |
| 6.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....                                                                   | 33   |
| 6.1.1 Aspectos generales. ....                                                                               | 34   |
| 6.1.2 Aspectos físicos.....                                                                                  | 34   |

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.2 COBERTURAS DEL SUELO.....                                                                              | 34 |
| 6.2.1 Uso potencial del suelo asociado a las coberturas del humedal.....                                   | 35 |
| 6.3 CAMBIO DE COBERTURA MULTITEMPORAL .....                                                                | 36 |
| 6.3.1 CAMBIO DE COBERTURA DEL SUELO.....                                                                   | 39 |
| 6.3.1.1 Pastos limpios.....                                                                                | 39 |
| 6.3.1.2 Pastos arbolados enmalezados.....                                                                  | 39 |
| 6.3.1.3 Cultivos.....                                                                                      | 40 |
| 6.3.1.4 Vegetación arbustiva herbácea.....                                                                 | 41 |
| 6.3.1.5 Zona urbana.....                                                                                   | 41 |
| 6.3.1.6 Cultivos confinados.....                                                                           | 42 |
| 6.3.1.7 Mixto pastos árboles cultivos.....                                                                 | 42 |
| 6.3.1.8 Agua.....                                                                                          | 43 |
| 6.3.2 Cobertura del suelo por año de estudio .....                                                         | 43 |
| 6.3.2.1 Identificación de coberturas 1963.....                                                             | 44 |
| 6.3.2.1 Identificación de coberturas 1977.....                                                             | 44 |
| 6.3.2.1 Identificación de coberturas 1993.....                                                             | 45 |
| 6.3.2.1 Identificación de coberturas 2007.....                                                             | 45 |
| 6.3.2.1 Identificación de coberturas 2019.....                                                             | 46 |
| 6.4 PRUEBA ESTADÍSTICA DE VARIACIÓN DE COBERTURAS.....                                                     | 47 |
| 6.4.1 Análisis descriptivo. ....                                                                           | 47 |
| 6.5 VALORACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS CON<br>RESPECTO AL CAMBIO DE COBERTURA ..... | 48 |
| 6.6 AFECTACIÓN DEL CAMBIO DE COBERTURA SOBRE LOS SERVICIOS<br>ECOSISTÉMICOS .....                          | 54 |
| 6.7 ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN.....                                                                       | 62 |
| 7. IMPACTO SOCIAL .....                                                                                    | 65 |
| 8. CONCLUSIONES.....                                                                                       | 66 |
| 9. RECOMENDACIONES.....                                                                                    | 69 |
| REFERENCIAS.....                                                                                           | 71 |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                            | Pág. |
|----------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 1. Clasificación de los servicios ecosistémicos                      | 21   |
| Tabla 2. Identificación de aerofotografías.                                | 30   |
| Tabla 3. Coberturas del suelo y su uso potencial.                          | 35   |
| Tabla 4. Resultados prueba estadística (Wilcoxon).                         | 48   |
| Tabla 5. Servicios ecosistémicos y coberturas asociadas.                   | 49   |
| Tabla 6. Cobertura asociada a actividades agrícolas.                       | 51   |
| Tabla 7. Cobertura asociada a espejo de agua.                              | 52   |
| Tabla 8. Cobertura asociada a actividades ganaderas.                       | 53   |
| Tabla 9. Cobertura asociada a vegetación.                                  | 54   |
| Tabla 10. Afectación del cambio de cobertura sobre servicios ecosistémicos | 55   |
| Tabla11. Especie vegetal nativa y su nombre científico                     | 63   |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                           | Pág. |
|---------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 1. Proceso metodológico.                                           | 29   |
| Figura 2. Metodología para la formulación de estrategias de conservación. | 32   |
| Figura 3. Localización.                                                   | 33   |
| Figura 4. Cobertura del suelo 1963.                                       | 37   |
| Figura 5. Cobertura del suelo 1977.                                       | 37   |
| Figura 6. Cobertura del suelo 1993.                                       | 38   |
| Figura 7. Cobertura del suelo 2007.                                       | 38   |
| Figura 8. Cobertura del suelo 2019.                                       | 38   |
| Figura 9. Cobertura asociada a pastos limpios.                            | 39   |
| Figura 10. Cobertura asociada a pastos arbolados enmalezados.             | 40   |
| Figura 11. Cobertura asociada a cultivos.                                 | 40   |
| Figura 12. Cobertura asociada a vegetación arbustiva herbácea.            | 41   |
| Figura 13. Cobertura asociada a zona urbana.                              | 41   |
| Figura 14. Cobertura asociada a cultivos confinados.                      | 42   |
| Figura 15. Cobertura asociada a mixto pastos árboles cultivos.            | 42   |
| Figura 16. Cobertura asociada a agua.                                     | 43   |
| Figura 17. Mapa cobertura del suelo 1963.                                 | 44   |
| Figura 18. Mapa cobertura del suelo 1977.                                 | 44   |
| Figura 19. Mapa cobertura del suelo 1993.                                 | 45   |
| Figura 20. Mapa cobertura del suelo 2007.                                 | 46   |

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 21. Mapa cobertura del suelo 2019.                                    | 46 |
| Figura 22. Diagrama de bigotes prueba estadística.                           | 47 |
| Figura 23. Propuesta de restauración de la cobertura vegetal.                | 62 |
| Figura 25. Proceso propuesto para la reconstrucción morfológica del humedal. | 63 |

## RESUMEN

El humedal Gualí-Tres Esquinas hacia el año 2014 fue declarado Distrito regional de Manejo Integrado (DMI) por la CAR; posteriormente, mediante el acuerdo 011 de 2017 se adopta el Plan de Manejo Ambiental (PMA) en su área directa de influencia (89,28% del humedal pertenece a la jurisdicción del municipio de Funza) (Vasco Zamudio & Sánchez, 2017), el plan tiene como finalidad implementar medidas que aporten a la conservación de los recursos naturales y el ecosistema; esto, después del resultado de la identificación de afectaciones antrópicas hacia el humedal en las que se encuentran: contaminación por vertimientos industriales y domésticos, descarga de residuos sólidos, uso conflictivo para uso ganadero y agrícola, extracción de agua por medio de motobombas y ampliación de zonas urbanas.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis multitemporal del efecto de cambio de cobertura y uso del suelo sobre los servicios ecosistémicos como herramienta para conservación en el humedal Gualí-Tres Esquinas ubicado en el municipio de Funza (Cundinamarca) mediante la interpretación de imágenes satelitales en un periodo de 56 años, identificación de los servicios ecosistémicos que presta el humedal y evaluación del efecto de cambio de cobertura sobre la prestación de servicios ecosistémicos identificados.

La metodología utilizada se basó en un proceso de fotointerpretación para la identificación, clasificación y análisis de la cobertura y uso del suelo, a partir de fotografías aéreas de la zona de estudio para los años 1963, 1977, 1993, 2007 y 2019, con un rango de tiempo promedio de 15 años entre ellos. Así mismo, mediante análisis estadístico se evaluó la significancia del cambio de cobertura para posteriormente, evaluar los efectos del cambio del suelo sobre los servicios ecosistémicos (SE). Finalmente, a través de una metodología se definieron las estrategias de conservación dirigidas a mitigar el cambio de la cobertura del suelo en el área de conservación del humedal.

Después de identificar las coberturas en el área de conservación del humedal para cada año de estudio y realizar el análisis estadístico, se logró determinar que la variación de cambio de coberturas entre periodos y en los 56 años de estudio no es significativa. Por lo anterior, al evaluar las actividades llevadas a cabo en el área de influencia directa del humedal por actores presentes y adyacentes a ésta, se concluyó que la afectación a la prestación de servicios ecosistémicos se define por el uso del suelo y no por el cambio de cobertura.

Se proponen como estrategias de conservación: restaurar la cobertura vegetal con especies nativas y funcionales, y la reconstrucción morfológica del humedal.

Palabras clave: conservación ambiental, zona húmeda, deterioro ambiental, uso de la tierra.

## ABSTRACT

Around 2014, the Gualí-Tres Esquinas wetland was declared a regional Integrated Management District (DMI) by CAR. Subsequently through the Agreement 11 made in 2017, the Environmental Management Plan (EMP) was adopted in its direct area of influence (89.28% in the municipality of Funza). The plan aims to implement measures that contribute to the conservation of the natural resources and the ecosystem. After the result of the identification of anthropic affectations in the wetland, among which are: contamination by industrial and domestic discharges, discharge of solid waste, conflicting use for livestock and agriculture, extraction of water by means of motor pumps, and expansion of urban areas.

Considering the affectations mentioned above, the present work aims to develop a multi-temporal analysis of the effect of changes in land cover and use on ecosystem services as a tool for conservation in the Gualí-Tres Esquinas wetland located in the municipality of Funza (Cundinamarca). This is done by interpreting satellite images over a period of 56 years, identifying the ecosystem services provided by the wetland, and evaluating the effect of the change in coverage on the provision of identified ecosystem services.

The methodology used was based on a photointerpretation process for the identification, classification and analysis of land use and cover from photographs taken of the study area in the years 1963, 1977, 1993, 2007 and 2019, with a 15-year average time range between them. Likewise, a statistical analysis of the change in coverage was proposed through the Wilcoxon test, to determine if this variation is significant and to subsequently evaluate the effects of soil change on ecosystem services (SE). Finally, strategic projects aimed at the conservation and recovery of the wetland were formulated and established in order of intervention to define their prioritization.

After identifying the covers in the wetland conservation area for each year of study and developing the statistical analysis, it was possible to determine that the variation in change of covers between the surveyed periods and the 56 years of study are not significant. When evaluating the activities carried out in the area of direct influence of the wetland by actors present and adjacent to it, it was concluded that the impact on the provision of ecosystem services is defined by land use and not by the change in coverage.

Keywords: environmental conservation, wetland, environmental degradation, land use.

## 1. INTRODUCCIÓN

Este documento presenta un análisis de la variación en la cobertura y uso del suelo en el humedal Gualí-Tres Esquinas por actividades antrópicas adyacentes a éste, en un periodo de 56 años comprendido entre 1963 y 2019. Su finalidad se enmarca en la generación de información de relevancia que sea útil por parte de los interesados, como herramienta de conservación. Ésta última presta gran importancia en tanto la continuidad de las alteraciones negativas sobre el ecosistema, sin actividades de recuperación y no recurrencia se reflejan directamente en la disminución de la calidad y cantidad de los servicios ecosistémicos de los que hacen uso los seres humanos. El área de influencia del estudio se tendrá en cuenta para el municipio de Funza (Cundinamarca), considerando que éste alberga el 89,28% del humedal en cuestión.

A partir de la convención llevada a cabo en 1971 por organismos intergubernamentales de 171 países, en Ramsar, Irán; se determinó el marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos (Mitsch & Gosselink, 2000), marco desarrollado en el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), Convenio Ramsar, Política Nacional de Humedales y expresado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Después de hallar qué el humedal Gualí se encuentra altamente presionado por actividades agrícolas, pecuarias, industriales y de expansión urbana, en que se evidencian agentes cancerígenos por insecticidas, emisiones de metano y dióxido de carbono, compactación de suelos, disminución de flora y fauna nativa, vertimientos de carácter doméstico e industrial y pérdida de área por aumento del área urbana; el Consejo Directivo de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) establece el acuerdo N° 001 del 18 de febrero de 2014, en el que se consideró el humedal Gualí-Tres Esquinas como parte de las áreas prioritarias para la conservación en la jurisdicción de la CAR, haciendo necesaria la implementación de un Plan de Manejo Ambiental (PMA) en el Distrito de Manejo Integrado (DMI), acorde con el espacio – tiempo, para contar con una herramienta adecuada en el ordenamiento, uso racional y manejo integral de las condiciones ambientales de este distrito.

Inicialmente, se realizará una fotointerpretación de imágenes satelitales obtenidas del banco de imágenes del IGAC que permitan establecer una zonificación multitemporal en cuanto a coberturas y uso del suelo se refiere, para los años 1963, 1977, 1993, 2007 y 2019. Para esto, se usará la metodología Corine Land Cover, propuesta por el IDEAM. Seguido, se relacionará la información para establecer los

servicios ecosistémicos que presta el humedal para así, evaluar los cambios que ha sufrido el ecosistema a lo largo del periodo propuesto y evidenciar la importancia de la conservación como herramienta de manejo.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis multitemporal del efecto del cambio de la cobertura y uso del suelo sobre los servicios ecosistémicos como herramienta para la conservación en el humedal Gualí-Tres Esquinas, ubicado en el municipio de Funza (Cundinamarca).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar imágenes satelitales en un periodo mínimo de 30 años que describan el cambio de cobertura y uso del suelo.

Identificar los servicios ecosistémicos que ofrece el humedal.

Evaluar el efecto del cambio de cobertura del suelo sobre la prestación de servicios ecosistémicos del humedal

### 3. ANTECEDENTES

El punto de partida de la presente investigación es el plan de manejo ambiental (PMA) del humedal Gualí-Tres Esquinas. Este documento es el resultado del convenio No 149 CAR-BIOCOLOMBIA 2004 (Henao, 2004), donde se declara al humedal como área natural protegida. Esto obliga a la autoridad ambiental a documentar detalladamente el estado inicial de los componentes bióticos y abióticos del humedal.

Alrededor del humedal se han realizado una serie de estudios; entre estos se destaca un estudio de la Universidad de los Andes, donde se realizó un análisis multitemporal del humedal de Funza, en el que se indaga sobre los cambios en la cobertura del suelo para un período comprendido entre 1940-1996, los estudios arrojaron que en el área del humedal predominaba los tipos de cobertura: cultivos, pastos y asentamientos humanos. Además, se determinó, que el área del humedal había disminuido, transformándose en cultivos y pastos, dedicados a actividades económicas como la ganadería y agricultura (Valencia Dávila, 2003).

A nivel regional se destaca que, a finales del año 2019, en Colombia se designó de importancia internacional el complejo de humedales urbanos del Distrito Capital de Bogotá (Convención sobre los humedales [RAMSAR], 2019), dando cuenta que las herramientas de conservación conllevan a la toma de decisiones acertadas por parte de los entes encargados, contribuyendo al adecuado manejo territorial desde la sostenibilidad.

Otros estudios apuntan a la influencia que posee el ordenamiento territorial en la conservación de áreas declaradas de importancia ambiental; tal es el caso de un estudio realizado en la reserva forestal protectora-productora "Casablanca", ubicada en el municipio de Madrid, en donde los resultados obtenidos del análisis multitemporal de la cobertura y uso del suelo permitieron a la administración municipal y la CAR de Cundinamarca enfocados en la conservación, iniciar un proceso de adquisición de predios de importancia ambiental, apoyados por el IGAC, para llevar a cabo las acciones y garantizar el recurso, después de evidenciarse que entre 1961-2015 hubo una reducción importante de la cobertura vegetal nativa, producto de la explotación de materiales de construcción, dentro de la reserva (Torres, 2017).

Otro estudio similar se realizó en el Humedal Gualí, Tres Esquinas (Funza), donde se llevó a cabo un análisis de la gestión ambiental de la problemática del manejo y la preservación, donde se concluyó que la articulación entre los tres municipios

jurisdicción del humedal, el gobierno municipal y la autoridad ambiental CAR no ha sido el correcto ya que la implementación de los instrumentos de planificación ambiental, no ha logrado resolver los aspectos ocasionados por la falta de participación de la ciudadanía, siendo vital para la gestión y los impactos urbanísticos e industriales, teniendo sumido al humedal en un deterioro ambiental (Vasco Zamudio & Sánchez, 2017).

Así mismo, la CAR a través del contrato de consultoría 1430 de 2015 ordeno realizar la formulación de plan de manejo ambiental del distrito regional integrado (DMI), dando como resultado un informe de los componentes ordenamiento y estratégico en los que se contempla el diagnóstico, la zonificación ambiental con sus regímenes de usos, planes, programas y proyectos orientados a la conservación. En 2017 la CAR Cundinamarca, mediante el Acuerdo 001 de 2014, declaró Distrito Regional de Manejo Integrado (DMI), los humedales de Gualí, Tres Esquinas y Lagunas Funzhé.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 HUMEDALES Y SERVICIOS AMBIENTALES QUE OFRECEN

La definición de humedal se especifica en la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (Ramsar, 1971); en su primer artículo.

Son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros (p. 1).

La Política de Humedales del Distrito Capital, adopta una definición alterna a la propuesta en la convención RAMSAR, sin diferir la una de la otra.

Son ecosistemas de gran valor natural y cultural, constituidos por un cuerpo de agua permanente o estacional de escasa profundidad, una franja a su alrededor que puede cubrirse por inundaciones periódicas (ronda hidráulica) y una franja de terreno no inundable, llamada zona de manejo y preservación ambiental (Alcaldía Mayor de Bogotá, Departamento Administrativo del Medio Ambiente, DAMA, 2006).

Los humedales se clasifican en: humedales intermareales arbolados, humedales boscosos de agua dulce (al cual corresponde la zona de estudio) y turberas arboladas. Se define este segundo así:

Se trata de bosques anegados que están inundados permanentemente o se inundan estacionalmente con agua dulce. Se dan en todas las regiones del planeta, desde las tropicales hasta las templadas y boreales. El río Orinoco discurre 2.600 kilómetros a través de Brasil, Colombia y Venezuela (Ramsar, 2011, p.7).

La importancia ambiental de los humedales se desarrolla en la prestación de servicios ambientales; interpretados como el aumento a la calidad de vida humana.

Estos servicios, son definidos por Fisher, Turner, y Morling (2009) como “aspectos de los ecosistemas utilizados (activa o pasivamente) para producir bienestar humano” (p. 645).

Otras definiciones aceptadas son:

- Aquellas funciones o procesos ecológicos que directa o indirectamente contribuyen al bienestar humano o tienen un potencial para hacerlo en el futuro (U.S. EPA, 2004).
- Los servicios ecosistémicos son todos aquellos beneficios, tanto tangibles como intangibles, que las poblaciones humanas obtienen de los ecosistemas naturales o transformados (Millennium Ecosystem Assessment – MEA, 2003).
- Las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que lo constituyen, sustentan y satisfacen a la vida humana (Daily, 1997).

4.1.1 Clasificación de los servicios ecosistémicos. La tabla 1 muestra la clasificación de los servicios ecosistémicos, de acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio.

Servicios de regulación: son los beneficios resultantes de la (auto) regulación de los procesos ecosistémicos (mantenimiento de la calidad del aire, el control de la erosión, la purificación del agua).

Servicios de soporte: se definen como los servicios y procesos ecológicos (de base) necesarios para la provisión y existencia de los demás servicios ecosistémicos (ciclo de nutrientes/formación de suelo, fotosíntesis/producción primaria, ciclo del agua).

Servicios de provisión: son los bienes y productos materiales que se obtienen de los ecosistemas (alimentos, fibras, maderas, leña, agua, suelo, recursos genéticos, petróleo, carbón, gas).

Servicios culturales: son los beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas (enriquecimiento espiritual, belleza escénica, inspiración artística e intelectual, recreación). (MEA, 2005, p.40)

Tabla 1. Clasificación de los servicios ecosistémicos.

| <b>Servicios de aprovisionamiento</b>                                         | <b>Servicios de regulación</b>                                       | <b>Servicios culturales</b>                           |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Productos obtenidos de los ecosistemas                                        | Beneficios obtenidos de la regulación de procesos de los ecosistemas | Beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas |
| Alimentos                                                                     | Regulación de clima                                                  | Espiritual y religioso                                |
| Agua dulce                                                                    | Regulación de enfermedades                                           | Recreativo y turístico                                |
| Leña                                                                          | Regulación y saneamiento del agua                                    | Estético                                              |
| Fibras                                                                        | Polinización                                                         | Inspirativo                                           |
| Bioquímicos                                                                   |                                                                      | Educativo                                             |
| Recursos genéticos                                                            |                                                                      | Identidad del sitio                                   |
|                                                                               |                                                                      | Herencia cultural                                     |
| <b>Servicios de soporte</b>                                                   |                                                                      |                                                       |
| Servicios necesarios para la producción de otros servicios de los ecosistemas |                                                                      |                                                       |
| Formación de suelos                                                           | Reciclaje de nutrientes                                              | Producción primaria                                   |

Fuente: (MEA, 2005).

4.1.2 Importancia en la prestación de servicios ecosistémicos. Se clasifican según las funciones anteriormente mencionadas; partiendo de que su finalidad es el mejoramiento de la calidad de vida humana.

Estos constituyen uno de los factores determinantes en la formación y establecimiento de las sociedades humanas que garantizan el bienestar social (GEF-UNEP, 1999). En ausencia de servicios ecosistémicos, la vida como la conocemos dejaría de existir y por ello, el valor que tienen es incuestionable (Daily et al. 1997).

Sin embargo; pueden verse reducidos en tanto la producción de bienes y servicios sea tal, que agote el recurso con rapidez o se exceda la capacidad de recuperación del medio en que se desarrolla.

4.1.3 Servicios ecosistémicos que presta el humedal Gualí-Tres Esquinas. La prestación de los servicios ecosistémicos en los humedales brinda una gama de servicios diferentes en función de su clase, tamaño y ubicación. Ramsar (2010), los clasifica en “10 Fichas Informativas que describen los ‘servicios de los ecosistemas’ prestados por los humedales, esto es, los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas” (p.1). Teniendo en cuenta los criterios anteriormente mencionados, el Humedal Gualí al localizarse en la Sabana Occidente de Bogotá, a una altura promedio de 2548 m.s.n.m, perteneciendo a un humedal continental de arroyo permanente, presta servicios de:

Control de inundaciones. Por su capacidad de absorción, el humedal actúa como una gran esponja que retiene el exceso de agua durante los períodos lluviosos, reservándose para las temporadas secas, por lo que regula los efectos perjudiciales de las crecientes de los ríos y los consecuentes riesgos de inundación (Chaparro Rodríguez, 2007, p.6).

Reposición de aguas subterráneas. Los humedales permiten la filtración de agua en caso que el nivel freático se encuentre bajo y liberan agua hacia la superficie cuando los acuíferos se encuentran sobresaturados.

Retención y exportación de sedimentos y nutrientes. La vegetación de los humedales juega un papel muy importante al momento de retener los sedimentos y nutrientes que son transportados por agua de escorrentía, ríos, arroyos, entre otros. Dicha vegetación, extrae los nutrientes provenientes del suelo o del agua y los dejan fijos en su estructura hasta que sean liberados al ambiente nuevamente, ya sea porque la vegetación muere o porque es cosechada para obtener alimentos o materiales de construcción.

Depuración de aguas. En este caso, las raíces de la vegetación (proceso conocido como fitorremediación), los sedimentos y los suelos de los humedales, “bloquean” los contaminantes depurando eficazmente el recurso hídrico. Igualmente, la retención de nutrientes en los tallos y raíces de la vegetación impide que estos alcancen niveles tóxicos y se filtren a aguas subterráneas.

Reservorios de biodiversidad. Uno de los principales servicios ecosistémicos de los humedales es la cantidad y calidad de flora y fauna, denominada diversidad biológica o biodiversidad, que estos pueden albergar.

Valores culturales. Debido a que la abundancia del recurso agua, se traduce en grandes asentamientos humanos alrededor de ella; por décadas, los humedales han sido parte de la cultura de diferentes grupos religiosos o civilizaciones reconocidas.

“Mitigación y adaptación al cambio climático. Como se mencionó en uno de los servicios ecosistémicos anteriores, los humedales aminoran la fuerza de las tormentas estabilizando las costas y protegiendo a las poblaciones cercanas. Actúan como sumideros de carbono” (MEA, 2005).

El principal bien que proveen los humedales altoandinos es la provisión de agua y algunas de las más relevantes funciones ecosistémicas y servicios ambientales están también asociados a los recursos hídricos (almacenamiento y regulación de caudales). Precisamente, uno de los más importantes servicios es el abastecimiento constante de agua potable para poblaciones humanas, agua dulce para riego de suelos agrícolas, estabilización de suelos, prevención de deslaves, derrumbes y el mantenimiento del equilibrio ambiental tanto por permitir la sobrevivencia de especies singulares de flora y fauna, como por la fijación de carbono y purificación atmosférica y estabilización del clima (Ramsar, 2008, p.5).

#### 4.2 ALTERACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Los servicios ecosistémicos de los humedales resultan alterados por impactos negativos directos e indirectos sobre él. (Vidal, Delgado, & Andrade, 2013) en el artículo “factores de la vulnerabilidad de los humedales altoandinos de Colombia al cambio climático global”, concluyeron una serie de procesos tensionantes que terminarán influyendo en la salud del ecosistema.

- El aumento de la temperatura, disminuirá el régimen hidrológico de la cuenca y por tanto del humedal, reduciendo el caudal susceptible de ser depurado de posibles contaminantes.
- La biodiversidad propia de los humedales puede extinguirse a nivel local, por aumento de temperatura, pérdida de vegetación, vertimientos y cambio del carácter del suelo.

- La tensión vertical desplazaría además la frontera agrícola por encima de los límites actuales, con cambios en las coberturas y en la acentuación de los procesos hídricos superficiales en los suelos, remociones en masa y aumento de sedimentación de los humedales.

Los humedales; por procesos antrópicos (vertimientos, infraestructura, entre otros) y naturales (terremotos, fallas), resultan impactados directamente, estos impactos se pueden describir en cinco categorías: pérdida de área de humedales, cambios en régimen de agua, cambios en la calidad del agua, sobreexplotación de productos de humedales e introducciones de especies extrañas (Shine & De Klemm, 1999).

La variación en el régimen de agua incrementa el caudal de la cuenca, ocasionando procesos de lixiviación, escorrentía y deslizamientos. Las épocas de sequía e inundaciones también se asocian a desastres naturales, cambio de uso del suelo, tala inapropiada y transformación de lagunas paramunas (Rojas & Casas, 2015).

El incremento de biomasa vegetal aumenta la evapotranspiración y disminuye el nivel de agua en los humedales. El uso desaforado de fósforo y nitrógeno en actividades agrícolas y el cambio de vocación del suelo para ganadería extensiva, hacen que la frontera depuradora en la interfaz tierra-agua, sea más estrecha y la calidad del agua, a su vez sea menor a la que se esperaría en condiciones “naturales” (Agudelo, Delgado, Andrade, & Guzmán, 2015).

#### 4.3 ALTERACIONES ASOCIADAS A CAMBIO DE COBERTURA

En la ficha informativa número 10 de Ramsar (2009) se concluye que los humedales se encuentran entre los ecosistemas más vulnerables al cambio climático. Los humedales de agua dulce resultarán afectados por modificaciones de las precipitaciones y el incremento de las temperaturas que influyen en la intensidad de las sequías, tormentas e inundaciones, las cuales tendrán repercusión en los servicios, funciones y beneficios. Así mismo, las actividades antrópicas que generan cambio en la cobertura como la agricultura intensiva, la urbanización y la contaminación generan la destrucción directa del ecosistema.

A continuación, se enumeran las alteraciones más comunes por actividades antrópicas en los humedales, entendiendo que no son las únicas. Estas difieren de la zona en particular.

4.3.1 Urbanización. El aumento de la población requiere de asentamientos en que ésta se pueda desarrollar; sin embargo, la conversión de ambientes propicios para la prestación de servicios ecosistémicos (como es el caso de los humedales), en tejido urbano continuo dan cabida a procesos de deterioro ambiental, traducidos en disminución de la calidad de vida humana. Los impactos ambientales negativos asociados a este proceso de transformación se pueden evidenciar en que:

- Se presentan afectaciones en el entorno paisajístico, según la incidencia visual y el efecto de las actividades antrópicas en el paisaje, principalmente por las modificaciones en el relieve, los cuerpos de agua y las coberturas vegetales. Estas modificaciones afectan la percepción del paisaje por los observadores, modificando la funcionalidad del mismo, lo que se traduce en cambios de líneas de vistas, colores, texturas y en sí, de su calidad visual (Olaya & Suárez, 2018).
- Se percibe la disminución de diversidad de coberturas vegetales; surge la eliminación del recurso forestal, la alteración de la capa orgánica del suelo, erosión del suelo, alteración del clima local y alteración de la estructura y composición de vegetación (Martínez & Ruiz, 2016). La disminución de diversidad de coberturas vegetales genera desertificación del suelo y desplazamiento de especies faunísticas endémicas, nativas y/o transitorias.
- El cambio de las dinámicas socioeconómicas producto de la urbanización en torno a los humedales, son causantes de la degradación en el valor ecosistémico, transformando éste en beneficios limitados y agotables.

La valoración económica se percibe en función del número de personas cuyos empleos están relacionados con el uso o la conservación de los servicios de humedales, o del número de unidades de producción que dependen de estos servicios (De Groot, et al, 2007). En ese caso, la conversión de cambio de cobertura en zonas urbanas genera influencia directa sobre aquellos actores que se benefician de actividades como ecoturismo sostenible, uso de sistemas de riego proveniente de los humedales y protectores y conservacionistas del ecosistema.

4.3.2 Contaminación. El ingreso de sectores económicos que generan contaminación directa sobre los humedales por su cercanía, sistemas de gestión de residuos, captación de agua y procesos asociados a su construcción, operación y desmantelamiento, propios de cada actividad; es causa de los impactos que alteran la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos (Shine & De Klemm, 1999).

- Contaminación auditiva. La presión industrial causa cambios en el estilo de vida de la fauna y seres humanos vecinos del humedal, a causa de ondas sonoras de elevados decibeles. La transformación de materias primas, sistemas de transporte y concentración urbana excesiva son ejemplo de ello (Shine & De Klemm, 1999).

- Disminución de caudal. Algunos humedales pueden verse afectados por bajos ingresos de agua en especial en periodos prolongados; los humedales continentales ubicados en los extremos de los ríos son particularmente vulnerables a este tipo de impacto, generalmente causado por el desvío de agua aguas arriba o tiempo sin lluvia, generando que un humedal se seque y se contraiga, causando la pérdida de área de humedal (Shine & De Klemm, 1999).

- Contaminación hídrica. Las funciones hidrológicas de los humedales están relacionadas con el mantenimiento de la superficie, el agua subterránea y los sedimentos que fluyen a nivel natural. Las aguas superficiales se infiltran y recargan las aguas subterráneas que pueden ser de suministro para determinada población. El proceso de infiltración ocurre naturalmente, sin embargo, las actividades antrópicas evitan que se produzca recarga en los acuíferos, ya que a los humedales están ingresando aguas residuales, afectando la calidad de los acuíferos y a su vez afectando las fuentes de suministro de agua (Shine & De Klemm, 1999).

- Residuos sólidos. Generados por las actividades comerciales, industriales, turísticas, así como los residuos por construcciones de obras públicas y privadas que generan acumulación de material inerte, producto del movimiento de tierras y desperdicios de los propios proyectos. Estos pueden llegar a afectar el componente del suelo, la calidad hídrica y pérdida del área subsuperficial de los humedales (Rondón, 2020).

- Contaminación del aire. Las emanaciones de polvos y gases corrosivos deterioran el medio ambiente dando lugar a olores desagradables, pérdida de visibilidad y daños para la salud humana, para los cultivos y otras formas de vegetación y sobre los materiales de construcción (Roa y Ascencio, 2012).

4.3.3 Expansión de la frontera agrícola. Comprender que la producción agrícola y la vegetación coexisten en un equilibrio dinámico es de suma relevancia, tal y como lo recalcan Loreto, Esperón y Barradas (2017). Sin embargo, la falta de vegetación puede causar cambios climáticos locales y regionales. Algunos agroecosistemas proveen recursos, servicios ambientales y sus respectivos beneficios socioeconómicos (Solís y Muñoz, 2021). El desequilibrio entre el aumento de la

frontera agrícola y la disminución de vegetación son procesos que se afectan directamente sin proporcionar beneficios reales.

- Pérdida de cobertura vegetal y vegetación. La reducción de especies vegetales en humedales puede asociarse con la pérdida de servicios ambientales, reduciendo la capacidad de depuración, pérdida de biodiversidad, entre otros. Este proceso, además de la eliminación de las especies de flora y fauna, redundando en el incremento de la demanda de agua para el riego de los cultivos, una vez que la frontera agrícola ha sido ampliada (Munguía, 2015).
- Expansión de la frontera pecuaria. El pastoreo de ganado impacta por la herbívora selectiva de la vegetación, el pisoteo del suelo y por la entrada de nutrientes a través de las excretas (Arango, Lenis y Ramírez, 2008).
- La actividad humana es responsable de arrojar al medio ambiente numerosos productos como fitosanitarios (plaguicidas) y sustancias derivadas de su degradación que pueden producir efectos letales o crónicos en los seres vivos, potenciados por la bioconcentración que se da en las cadenas tróficas (Arango, Lenis y Ramírez, 2008).

#### 4.4 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL ALREDEDOR DEL HUMEDAL

Los humedales ubicados en los municipios de la Sabana de Bogotá, conocidos como humedales del altiplano Cundiboyacense, ubicados entre los 2.000 y 2.700 m.s.n.m, son áreas de pantanos de aguas dulces, que en la planicie Cundiboyacense se encuentran inundadas temporal o permanentemente. Son una importante reserva de fauna (especialmente aves acuáticas) y de flora, estando cubiertos de vegetación acuática o semiacuática. La función principal de estos ecosistemas es regular y amortiguar las inundaciones de los ríos (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR], 2011).

El Humedal Gualí Tres Esquinas, ubicado en el sector occidental de la Sabana de Bogotá, forma parte del sistema de regulación hídrica del Río Bogotá en la Sabana de Bogotá y pertenece a un conjunto de humedales declarados como áreas protegidas. Además, se le otorgó la categoría de Distrito Regional de Manejo Integrado (DMI), por lo que permite que parte del terreno sea dedicado a la preservación, recuperación y otra parte para su uso sostenible (Vasco & Sánchez, 2017).

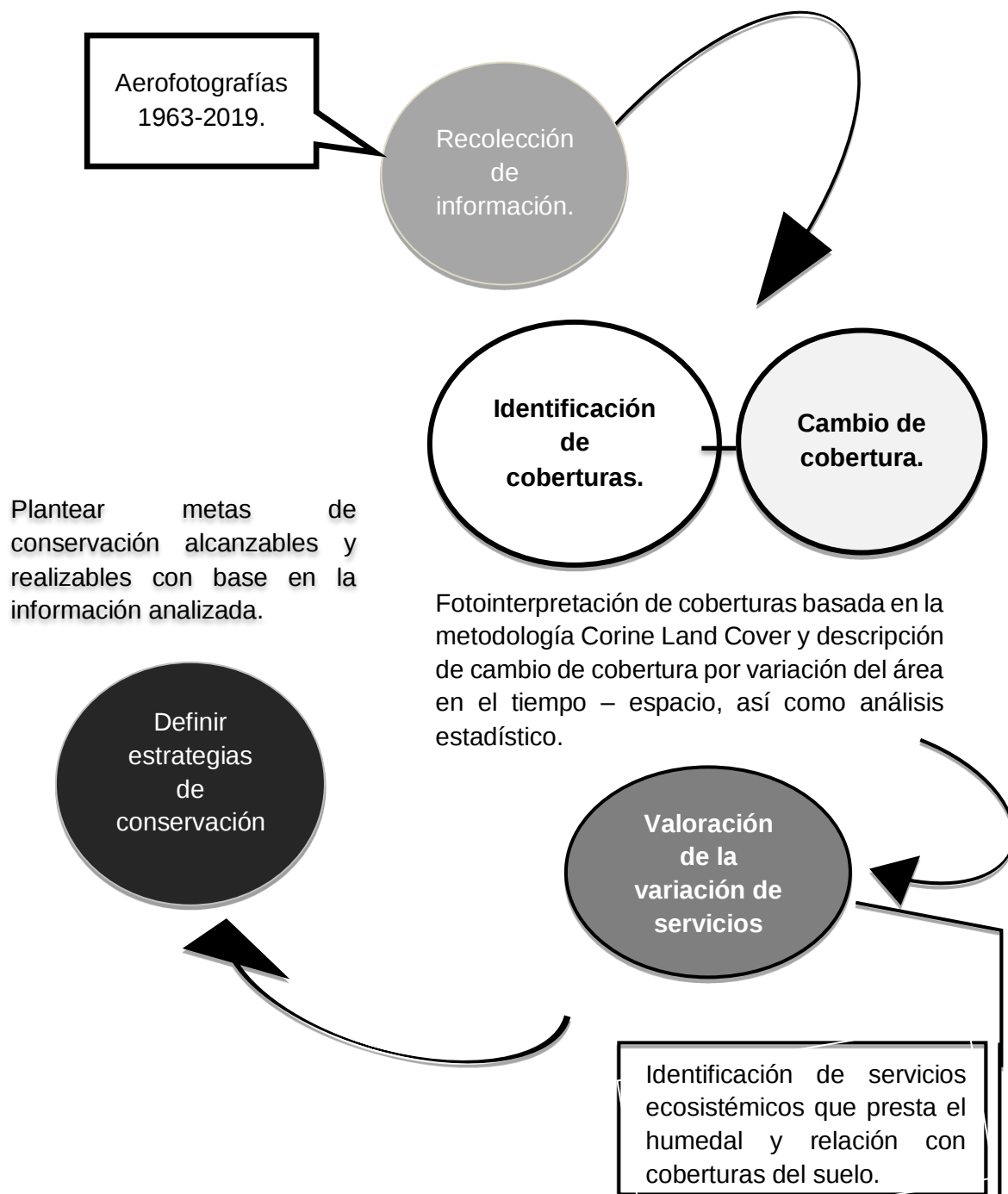
Estos ecosistemas han sufrido graves alteraciones principalmente de tipo antrópicas, como lo son la urbanización, la actividad agrícola de alto impacto como los cultivos y la ganadería y todo tipo de actividades industriales (Moreno, García & Villalba, 2000). Originalmente el Humedal Gualí Tres Esquinas, se encontraba rodeado en sus riberas por comunidades arbóreas y arbustivas de diversas especies, pero esta fue eliminada por el establecimiento de cultivos y pastizales para la ganadería, y que actualmente son las coberturas que conforman el margen del humedal con praderas de pastos (kikuyo) y por cultivos (hortalizas y frutales) (Molina, 2015).

Por otra parte, con la llegada de la industria al municipio de Funza, invadiendo la ronda del humedal, han venido transformando el ecosistema, lo que ha generado un impacto ecológico, debido a que el humedal se ha convertido en recepción de aguas negras, lo que ha provocado un excesivo crecimiento de las plantas acuáticas, eutrofización en el ecosistema, disminuyendo la disponibilidad de oxígeno, la biodiversidad y aumentando la producción de gas metano, contribuyendo al calentamiento global (Calderón, 2009).

El manejo de los humedales en Colombia está dirigido por la Política Nacional de Humedales Interiores de Colombia, en donde se reglamenta el uso sostenible, conservación y manejo de los humedales, igualmente teniendo en cuenta aspectos referidos en el Convenio de RAMSAR. De acuerdo con este documento se han desarrollado Planes de Manejo Ambiental, en los cuales se establecen diversas estrategias de gestión ambiental y desarrollo sostenible para cada humedal en específico. Sin embargo, pese al esfuerzo realizado por la autoridades ambientales y municipales de implementarlo, no se evidencia un impacto positivo sobre las condiciones de los humedales en general (Vasco & Sánchez, 2017).

## 5. METODOLOGÍA

Figura 1. Proceso metodológico.



Fuente: autores.

## 5.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la elaboración del análisis multitemporal se realizó una búsqueda de las fotografías aéreas de la zona de estudio en el centro de información del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), siguiendo los siguientes criterios: cubrimiento total o parcial de la zona de estudio, mínima nubosidad o patrones que dificulten la visibilidad de la zona, al menos una de ellas debería ser anterior a 1970, y finalmente estar en el intervalo de tiempo no mayor a 15 años, con el fin de identificar cambios significativos. Como se muestra en la tabla 2, se recopilaron las fotografías de los años 1963, 1977, 1993, 2007 y 2019; estos años fueron elegidos, de acuerdo con los parámetros establecidos anteriormente y la disponibilidad de información del IGAC. Para obtener información más reciente se procedió a la adquisición de una imagen satelital correspondiente al año 2019, tomada de Google Earth.

Tabla 2. Identificación de aerofotografías.

| Año  | Vuelo            | Sobre | Número de fotos | Escala   |
|------|------------------|-------|-----------------|----------|
| 1963 | M-1187<br>C-1056 | 22169 | 524-525         | 1: 20000 |
| 1977 | C-1797           | 29112 | 188-190         | 1: 44300 |
| 1993 | C-2521           | 36950 | 135-136         | 1: 49200 |
| 2007 | C-2800           | 40776 | 04-05           | 1: 39800 |
| 2019 | GOOGLE EARTH PRO |       |                 | 1: 44000 |

Fuente: autores.

Previamente se realizó una investigación sobre el proceso de fotointerpretación de fotografías para la identificación de las coberturas, haciendo uso de los criterios como: la forma, tamaño, tono y textura, teniendo en cuenta que las fotografías de los años 1963, 1977, 1993 y 2007 corresponden a imágenes pancromáticas.

Posteriormente, a través del software ArcGIS 10.7 se realizó la vectorización digital de las fotografías aéreas obtenidas a partir del proceso de fotointerpretación de la cobertura vegetal, este a través del estereoscopio.

Se consultó la guía metodológica para la delimitación de zonas de ronda en la jurisdicción del CAR Cundinamarca, y de acuerdo con esta guía para la definición de rondas hídricas y de conservación de cuerpos de agua, se tomará una faja de 30 metros de ancho, paralelas a líneas a cada lado del cauce, en este caso del cuerpo de agua del Humedal Gualí Tres Esquinas.

5.1.1 Descripción y cambio de cobertura del suelo. Se identificaron y clasificaron las diferentes coberturas del suelo del área de conservación del Humedal Gualí-Tres Esquinas, con base en la metodología Corine Land Cover, partiendo del proceso de fotointerpretación de las fotografías aéreas para los años 1963, 1977, 1993 y 2007. Para el año 2019, el proceso de fotointerpretación se realizó a partir de una imagen satelital, directamente desde el computador, lo que permitió aumentar la resolución de la imagen y observar a más detalle.

Además, a través de la fotointerpretación de las fotografías aéreas y de las imágenes satelitales, permitió deducir el uso del suelo que se presentaba en cada año; cabe resaltar que las coberturas del suelo se contrastaron con el documento del componente diagnóstico del PMA del Humedal Gualí Tres Esquinas.

5.1.2 Análisis estadístico de la variación de las coberturas. Se realizó mediante el test de Wilcoxon (prueba no paramétrica) que consiste en organizar los datos de menor a mayor, asignar los rangos para después sumar solo los de una muestra (cualquiera), posteriormente con la cantidad de datos calcular el valor esperado y la varianza para reemplazar en la fórmula de estandarización (Z). Con el valor de z en la tabla de la normal se busca la probabilidad y si ese valor es menor a un 5% para este caso se rechaza la hipótesis nula de que las muestras son iguales en caso contrario se acepta la  $H_0$  de que las medianas de las muestras son iguales.

Prueba de Hipótesis

$$H_0 = M_i = M_j$$

$$H_0 = M_i \neq M_j$$

$H_0$ =Hipótesis nula (Las medianas de las muestras son iguales).

$M_i$ = Muestra 1.

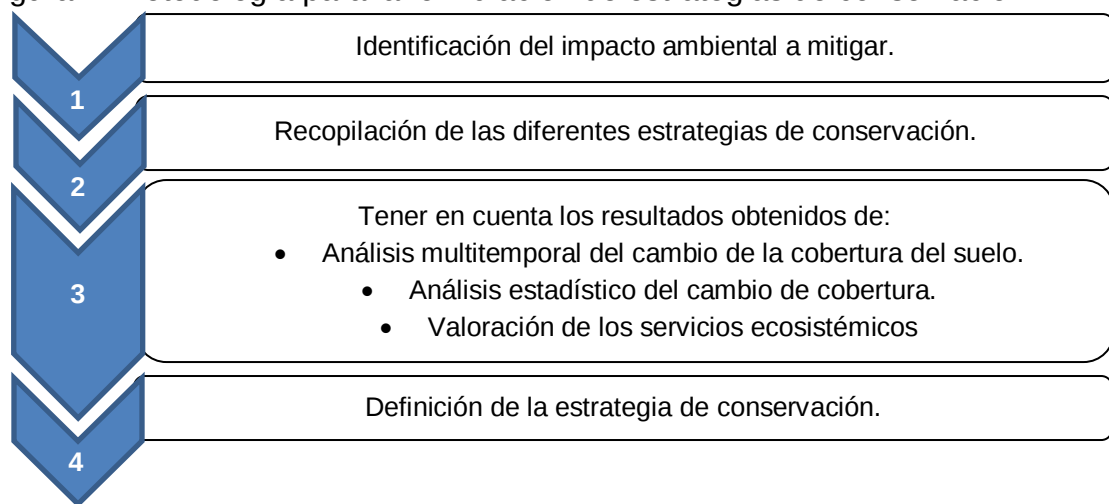
$M_j$ = Muestra 2.

## 5.2 VALORACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS CON RESPECTO AL CAMBIO DE LA COBERTURA

Para obtener la relación de los servicios ecosistémicos con la variación de la cobertura del suelo dentro del área de conservación del Humedal Gualí Tres Esquinas, del municipio de Funza, se realizó la identificación de los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, soporte, regulación y culturales. Seguido a esto, se identificó la cantidad de SE asociados a las diferentes coberturas en cada uno de los periodos de tiempo; para este estudio no se tendrá en cuenta la producción por hectáreas, debido a la falta de información secundaria, debido a que no es posible cuantificar todos los SE y mucho menos asignar variables para su medición; el análisis se basa en identificar la pérdida o el aumento de cada SE a través del número de hectáreas de las coberturas en cada período de tiempo.

## 5.3 ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN

Figura 2. Metodología para la formulación de estrategias de conservación.



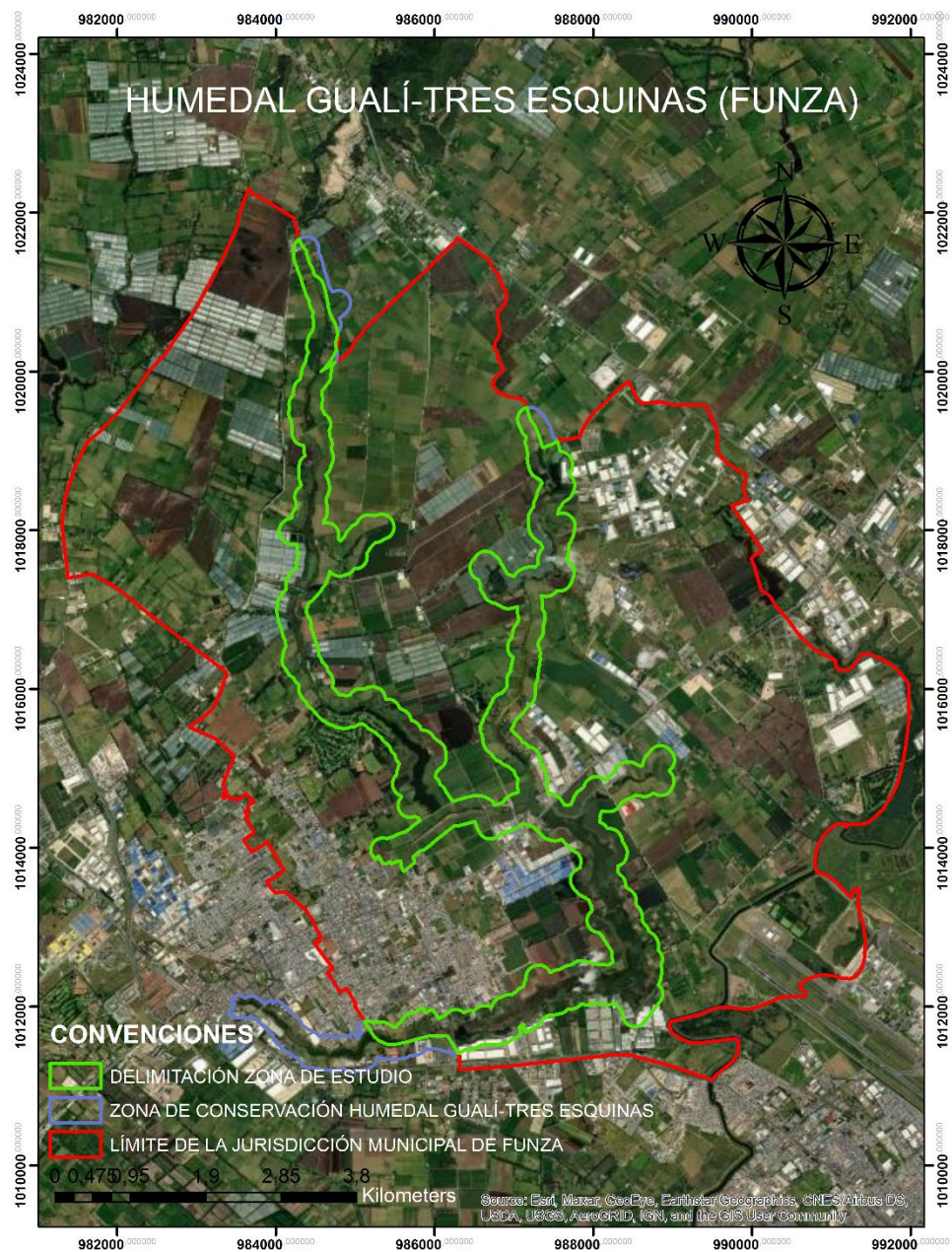
Fuente: autores, basados en (Fernández Saavedra, M. A., & Aristizábal Delgado, J. N, 2021) y (Murcia, C., & Guariguata, M. R. 2014).

Para la definición de estrategias de conservación que permitan mitigar el cambio de la cobertura del suelo en el humedal y la pérdida de los servicios ecosistémicos, derivado de las actividades económicas (agricultura, ganadería, industrial, entre otros) a lo largo de este tiempo, se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos del análisis multitemporal, el análisis estadístico y la valoración de los servicios ecosistémicos, con el fin de elegir las estrategias más adecuadas. De acuerdo con lo anterior, en la figura 2 se ilustra un esquema para dar cumplimiento al objetivo.

## 6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Figura 3. Localización.



Fuente: autores.

6.1.1 Aspectos generales. Funza está ubicada en la provincia Sabana de Occidente, a 15 km de la ciudad de Bogotá. Limita al norte con Madrid y Tenjo, al oriente con Cota y Bogotá, al sur con Mosquera y al occidente con Madrid. Tiene una extensión urbana de 4 km<sup>2</sup> y una extensión rural de 66 km<sup>2</sup>. Dentro del municipio de Funza se encuentra el 89,28% del Humedal Gualí-Tres Esquinas (Vasco Zamudio & Sánchez, 2017), como se muestra en la figura 4.

#### 6.1.2 Aspectos físicos.

Su altura sobre el nivel del mar es de 2.548 m, y su latitud de 4° 43'. La superficie del municipio es plana, presentando las características típicas de las altiplanicies cundinamarqueses con pendientes hasta del 3%; sus suelos (*Andepts*, *Tropepts*), que corresponden a la serie Funza Fz, se caracterizan por su relieve plano con pendiente entre 0 -1% moderadamente profundo, bien drenados y con una fertilidad moderada, originados a partir de ceniza volcánica. A menudo a partir de los 40 a 50 cm de profundidad aparecen saturados con agua, o por lo menos húmedos aún en periodos secos. Son medianamente ácidos y de muy alta capacidad de intercambio catiónico (Ramos & López, 2015 p. 33).

El suelo de Funza por su capacidad de uso ha sido clasificado en la clase agrológica 11 hc -1 de uso y manejo, drenaje natural moderado e imperfecto, susceptibles a heladas e irregular distribución de la lluvia, con una temperatura de 14°C (Ramos & López, 2015 p. 33).

Hidrografía: la fuente principal de abastecimiento de agua superficial del municipio, son los ecosistemas de los humedales, los cuales abarcan un área de 186.4 hectáreas del total del área del Municipio, representando el 2.7% de la superficie total. Otra fuente importante es el distrito de riego La Ramada, el cual riega y drena terrenos dedicados a la agricultura y a la ganadería, permitiendo el desarrollo agropecuario en zonas de alto potencial para la producción. Y también se cuenta con un gran porcentaje de agua subterránea, que abastecen la zona rural con más de 200 pozos en uso (Alcaldía municipal de Funza, 2018).

#### 6.2 COBERTURAS DEL SUELO

La identificación de coberturas del suelo se realizó mediante la interpretación de imágenes satelitales obtenidas en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi

correspondientes a los años 1963,1977, 1993 y 2007; la imagen del año 2019, por disponibilidad, se extrajo del software Google Earth pro.

El área de conservación a que respecta este estudio fue extraída de las bases de datos de la CAR y se delimitó con el límite de la jurisdicción municipal de Funza, esto, teniendo en cuenta que es el municipio que con mayor extensión del humedal Gualí; así, se tiene un área en común para los 5 periodos de 1065,775 hectáreas.

6.2.1 Uso potencial del suelo asociado a las coberturas del humedal. La interpretación de imágenes satelitales da cuenta de las coberturas del suelo presentes en el periodo de estudio, conllevando a la interpretación de los posibles usos a los que el área ha estado expuesta y sus posibles repercusiones ambientales. En la tabla 3 se muestran los tipos de cobertura y sus categorías; y su potencial uso, de acuerdo a la metodología Corine Land Cover y el proceso de fotointerpretación.

Tabla 3. Coberturas del suelo y su uso potencial.

| Código | Cobertura vegetal            | Descripción                                                                                                                                                               | Uso del suelo                                                        |
|--------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 1.1    | Zonas urbanizadas            | Zonas artificiales donde se llevan a cabo actividades industriales y comerciales; presencia de tejido urbano, instalaciones recreativas y zonas verdes urbanas y rurales. | Vivienda, recreación, comercio, industria, instalaciones educativas. |
| 2      | Cultivos                     | Cultivos para la producción de alimentos                                                                                                                                  | Agropecuario.                                                        |
|        | Invernaderos                 | Infraestructura para cultivos confinados.                                                                                                                                 | Cultivo, producción y manejo de flores.                              |
|        | Pastos limpios               | Extensión de praderas de "pasto kikuyo".                                                                                                                                  | Uso ganadero.                                                        |
|        | Pastos arbolados/enmalezados | Comprende árboles y pastos, junto a vegetación arbustiva nativa.                                                                                                          | Uso pecuario.                                                        |

Tabla 3. (Continuación).

| Código  | Cobertura vegetal              | Descripción                                                            | Uso del suelo                                                       |
|---------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 2       | Mixtos pastos-árboles-cultivos | Comprende áreas ocupadas por pastos, árboles y cultivos.               | Uso agrícola y ganadero.                                            |
| 3.2     | Vegetación arbustiva-herbácea  | Comprende áreas cubiertas por vegetación arbustiva y herbácea natural. | Uso forestal o agrícola.                                            |
| 4.1.1.1 | Agua                           | Extensión del cuerpo de agua.                                          | Espejo de agua del humedal Gualí Tres Esquinas y plantas acuáticas. |

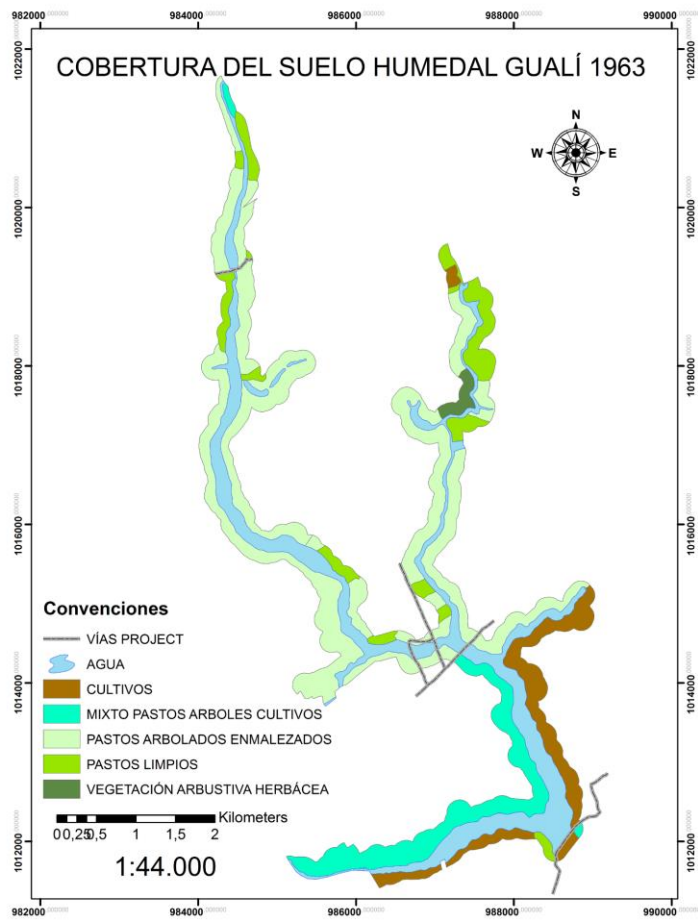
Fuente: autores, basado en Leyenda Nacional de coberturas de la tierra: metodología Corine Land Cover (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2010).

La fotointerpretación de fotografías aéreas se realizó por estereoscopia, teniendo en cuenta el tono, la disposición y la forma de las “manchas”. A partir de ello, se sectorizó el área correspondiente a cada una de las coberturas presentadas en la Leyenda Nacional de Coberturas y se georreferenció con base en puntos de control (puntos fácilmente identificables y con coordenadas conocidas), para finalmente vectorizar y obtener el área ocupada por cada cobertura. Los porcentajes se obtuvieron al ser relacionados con el área propuesta por la CAR para el Distrito de Manejo Integrado en la zona de conservación del humedal Gualí-Tres Esquinas, únicamente en la jurisdicción del municipio de Funza.

### 6.3 CAMBIO DE COBERTURA MULTITEMPORAL

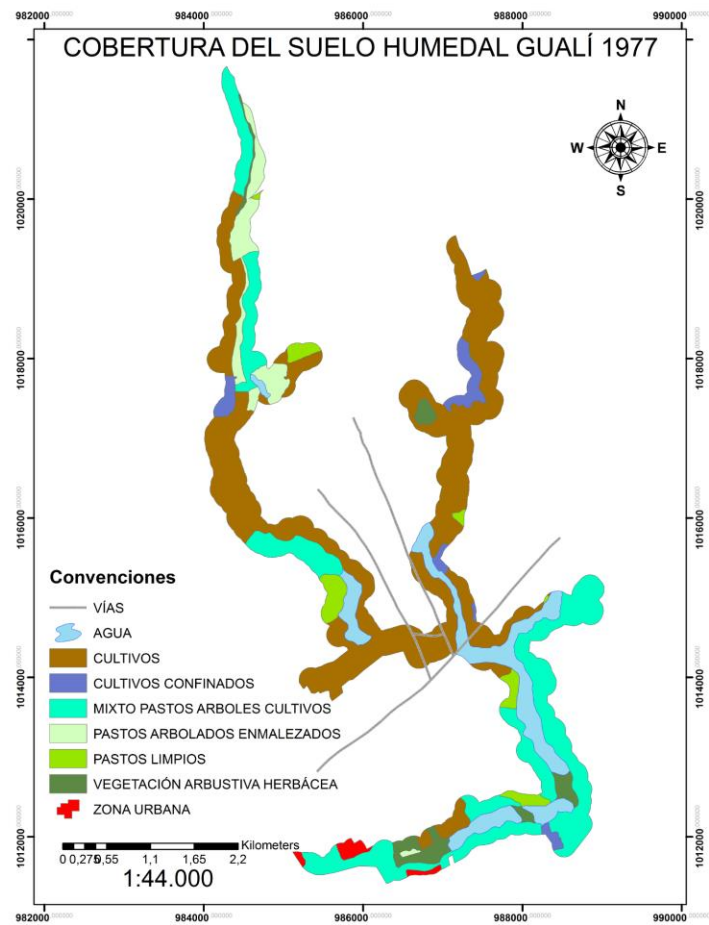
A partir de la interpretación de coberturas del suelo expuesta en la metodología para Colombia CORINE LAND COVER, se identificaron 8 coberturas en el área de conservación del humedal Gualí para cada uno de los años de estudio; pastos limpios, pastos arbolados/enmalezados, cultivos, vegetación arbustiva/herbácea, zona urbana, cultivos confinados, mixto pastos-árboles-cultivos y agua; dando cuenta de las transformaciones a las que se ha visto expuesto, para así determinar las posibles repercusiones ambientales; para observar espacialmente el cambio de la cobertura en el periodo de estudio se realizaron los mapas correspondientes a cada año (ver figuras 4 a 8).

Figura 4. Mapa cobertura del suelo 1963.



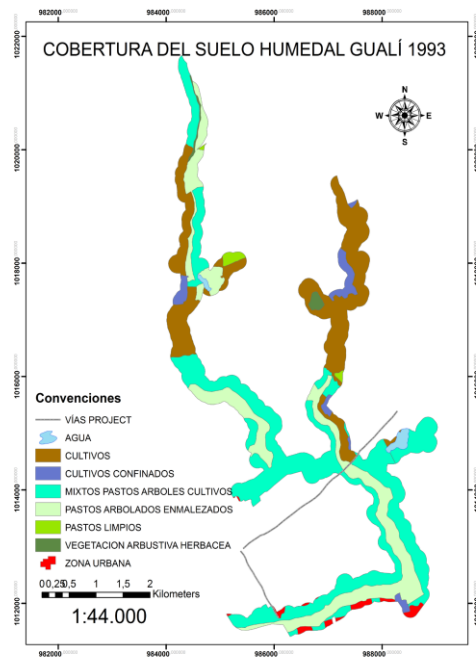
Fuente: autores

Figura 5. Mapa cobertura del suelo 1977.



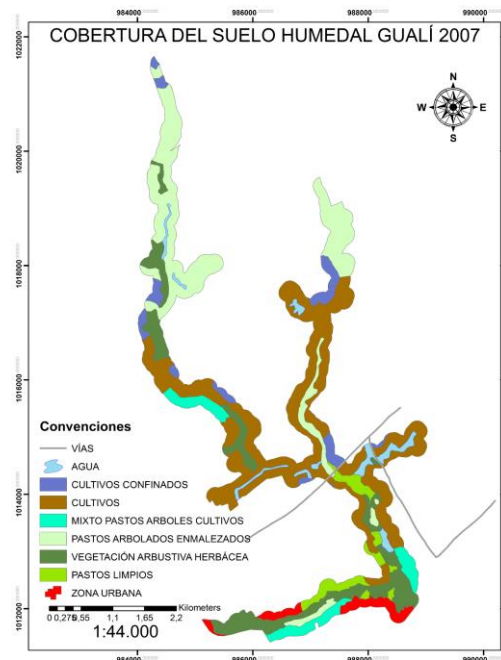
Fuente: autores

Figura 6. Mapa cobertura del suelo 1993.



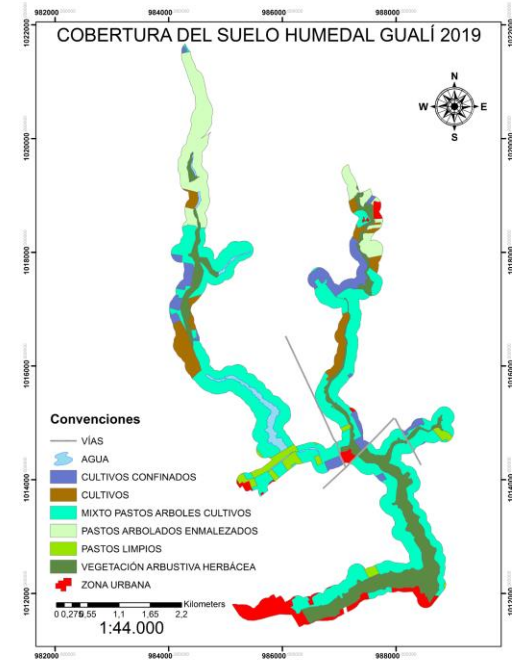
Fuente: autores.

Figura 7. Mapa cobertura del suelo 2007.



Fuente: autores.

Figura 8. Mapa cobertura del suelo 2019.

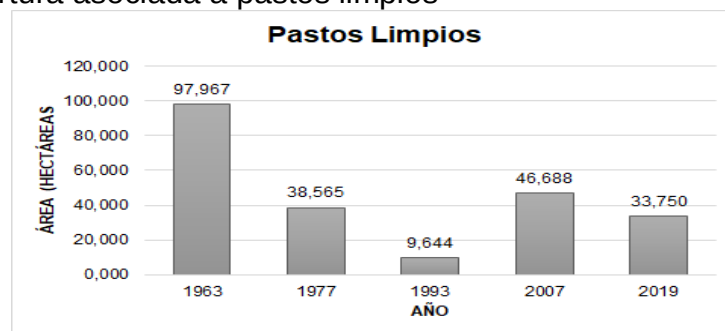


Fuente: autores.

### 6.3.1 CAMBIO DE COBERTURA DEL SUELO

6.3.1.1 Pastos limpios. El área ocupada por pastos limpios (ver figura 9), que comprende cultivos de pastos con fines agrícolas y/o pecuarios, no supera el 10% de cobertura a lo largo de los periodos de estudio; aun así, presenta descensos considerables, pasando de ocupar el 9,19% del área en 1963, a el 3,62% para el año 1977 y decayendo hasta el 0.90% en 1993. En el 2007 ocupó una extensión del 4,38% y nuevamente decae en el 2019 llegando al 3,17%. Estas variaciones se reflejan en el cambio a coberturas como mixtos de pastos, árboles y cultivos, cultivos y pastos arbolados enmalezados ya sea por cambio de uso del suelo o por posible abandono, aumentando la vegetación en el área. (IDEAM - UNAL, 2018) evidencia precipitaciones en el periodo 1963-1993 por debajo de la media o someros a esta, lo que puede dar razón del abandono de estas zonas por falta de abastecimiento de agua y pasto para ganado y permitiendo la incorporación de otro tipo de coberturas.

Figura 9. Cobertura asociada a pastos limpios

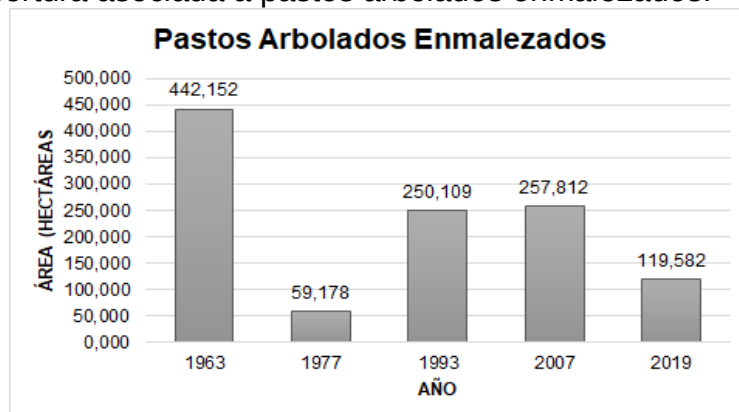


Fuente: autores

6.3.1.2 Pastos arbolados enmalezados. Los pastos arbolados/enmalezados corresponden a aquella cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles y malezas conformando asociaciones de vegetación secundaria, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono (ver figura 10).

Esta cobertura se sobrepone en el año 1963, ocupando el 41,49% del DMI, pero se transforma drásticamente para el periodo 1977 en zonas ocupadas por cultivos y mosaicos de estos con especies arbóreas y pastizales. Los dos periodos siguientes incrementa su área lo que resulta en la interpretación de cultivos transitorios y transformación de pastos limpios por abandono o deterioro. El periodo actual representa el 11,22%, reemplazado por coberturas de vegetación arbustiva y herbácea, zonas urbanas y cultivos libres y confinados.

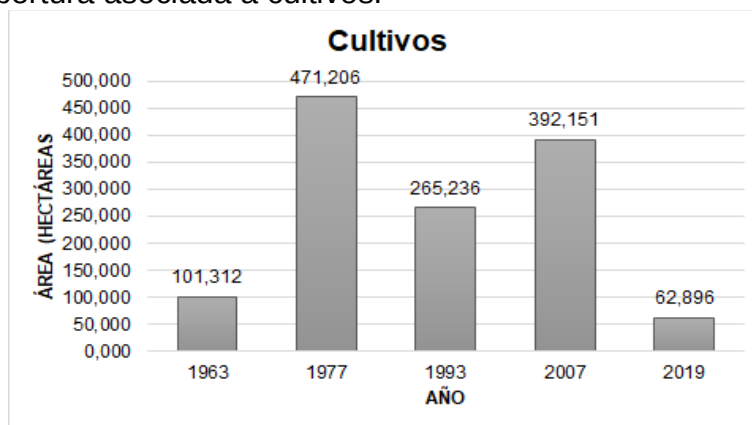
Figura 10. Cobertura asociada a pastos arbolados enmalezados.



Fuente: autores

6.3.1.3 Cultivos. Las zonas de cultivos (figura 11) reflejan variaciones significativas en el periodo de estudio, presentando fluctuaciones propias de cultivos transitorios más que permanentes y transformaciones en el uso del suelo por actividades pecuarias, crecimiento de vegetación y ampliación de las zonas urbanas e industriales; aun así, se reflejan picos importantes en los años 1977 y 2007 abarcando el 44,21% y 36,79% del área en cuestión. La fluctuación en las zonas de cultivo se debe al cambio que ha sufrido esta área para la implementación de coberturas de pastos limpios, pastos arbolados-enmalezados y mixto de pastos-árboles-cultivo, lo que da cuenta de la intensificación de actividades ganaderas en lo que solían ser espacios de producción de alimentos para animales y humano, así mismo, la ampliación de zonas urbanizadas para fines domésticos e industriales alteran la composición del suelo y reducen la fertilidad y drenaje.

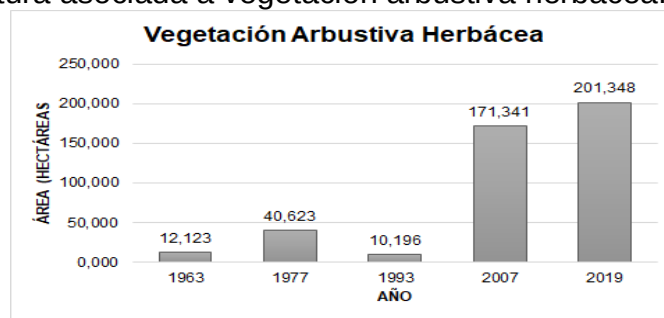
Figura 11. Cobertura asociada a cultivos.



Fuente: autores

6.3.1.4 Vegetación arbustiva herbácea. La vegetación arbustiva herbácea comprendida entre 1963 y 1993 presenta un pico en 1977 de baja escala (3,81%), superado hacia el periodo 2007-2019 con porcentajes de 16,08% y 18,89%. Aunque esta cobertura se relaciona directamente con el bienestar ambiental del ecosistema; el aumento se denota en zonas con incremento de la zona urbana e industrial y reducción la cobertura por agua, principalmente hacia el sur del humedal; esto se traduce en problemáticas de eutrofización posiblemente por vertimientos industriales y domésticos con alto contenido de materia orgánica y residuos sólidos (ver figura 12).

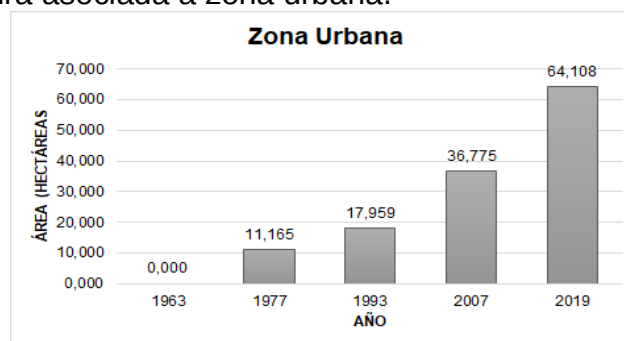
Figura 12. Cobertura asociada a vegetación arbustiva herbácea.



Fuente: autores

6.3.1.5 Zona urbana. La zona urbana (figura 13), en la ronda de conservación del humedal presenta un aumento progresivo, iniciando en 1963 con la ausencia de esta cobertura hasta alcanzar a cubrir el 6,02% en 2019, siendo este el periodo con la tasa de crecimiento más alta, después del 2007; aunque su participación no es relevante en cuanto a área se refiere, los impactos causados por su incremento se reflejan en la salud ambiental y por tanto los servicios ecosistémicos. La artificialización por zonas urbanas e industriales trae consigo impactos directos e indirectos reflejados en los cambios de cobertura aledaños a estas zonas.

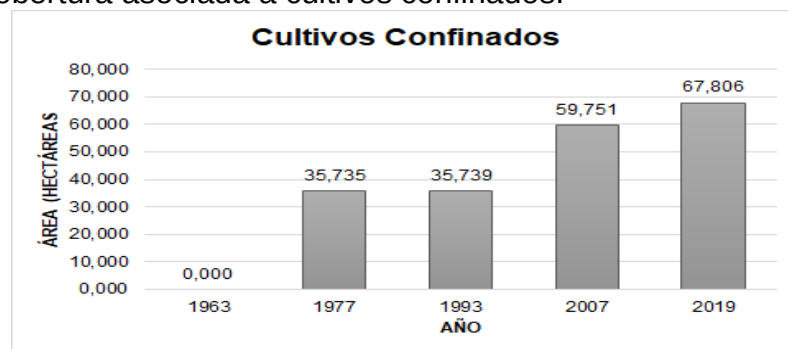
Figura 13. Cobertura asociada a zona urbana.



Fuente: autores

6.3.1.6 Cultivos confinados. Los cultivos confinados, al igual que las zonas urbanas, han presentado un crecimiento paulatino, aunque más abrupto; pasando de la nulidad a ocupar el 3,35% en los años 1977 y 1993 e incrementando hasta el 6,36% en el 2019 (ver figura 14). Se hallan presentes a lo largo de toda el área de conservación y pertenecen principalmente a floricultivos asociados a impactos ambientales como contaminación de agua subsuperficial por infiltración de pesticidas, compactación del suelo, uso excesivo de agua por irrigación e incremento de organismos competidores que afectan a los cultivos libres, que a lo largo del tiempo-espacio, se encuentran adyacentes a estos.

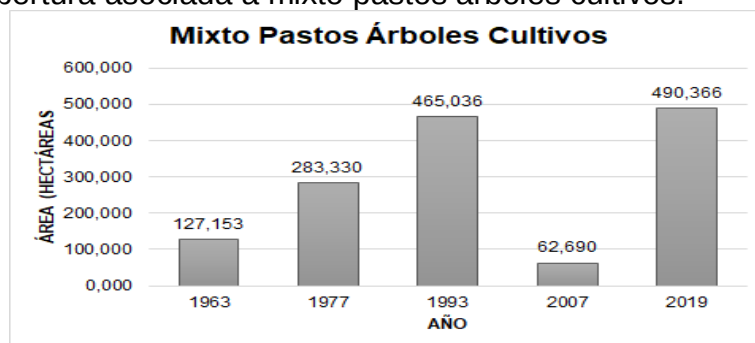
Figura 14. Cobertura asociada a cultivos confinados.



Fuente: autores

6.3.1.7 Mixto pastos árboles cultivos. La cobertura de pastos con presencia de especies arbóreas y cultivos en mosaico muestra un aumento progresivo y representan un área importante en todo el periodo de estudio llegando a cubrir el 43,63% y 46,01% para los años 1993 y 2019 (ver figura 15). Se exceptúa el año 2007 cuando se ve afectado por el aumento de otras coberturas como cultivos y pastos limpios. La identificación de esta cobertura se llevó a cabo por la presencia de pastos arbolados y cultivos transitorios en áreas de compleja clasificación.

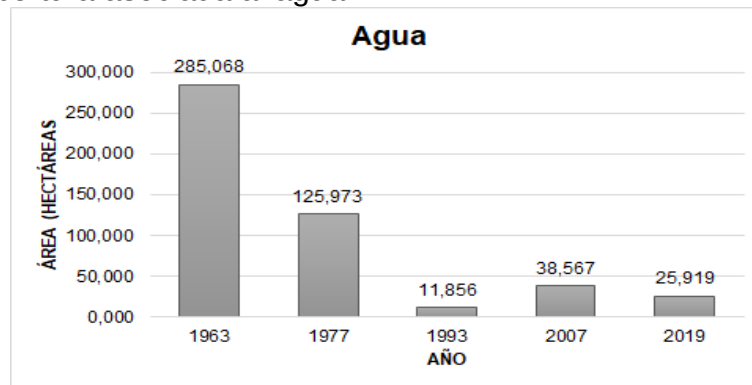
Figura 15. Cobertura asociada a mixto pastos árboles cultivos.



Fuente: autores.

6.3.1.8 Agua. El agua o espejo de agua se encuentra estrechamente ligado al ecosistema de estudio y es a partir de este que se realiza una delimitación de la ronda hídrica; a pesar de ello, se observa una disminución considerable del área, pasando de cubrir el 26,75% del área en 1963 a decaer al 1,11% para 1993 y fluctuar positivamente, pero sin superar el 4% en los años siguientes (ver figura 16). La disminución del área se debe a la predominancia de coberturas vegetales, pastizales y cultivos lo que deja entrever la fuerte presión sobre el medio a lo largo del tiempo.

Figura 16. Cobertura asociada al agua.

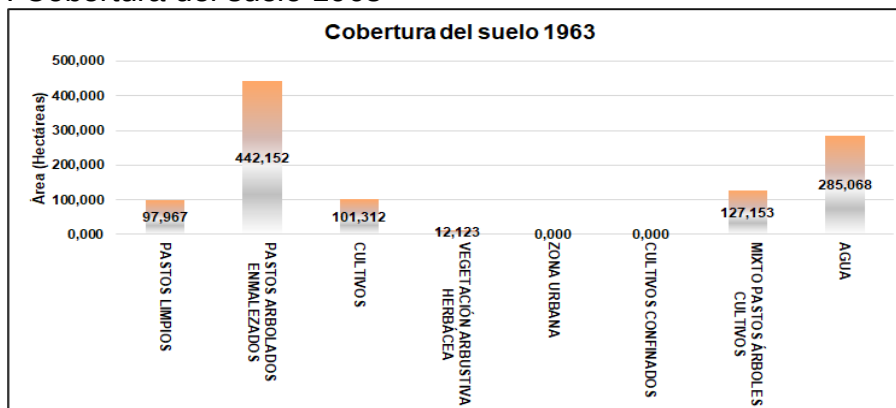


Fuente: autores.

### 6.3.2 Cobertura del suelo por año de estudio

6.3.2.1 Identificación de coberturas 1963. El año 1963 (ver figura 17) presenta seis tipos de coberturas en las que se destaca la presencia de pastos arbolados enmalezados cubriendo el 41,49% del área; así mismo, el espejo de agua predomina con una extensión del 26,75%. En menor medida se observan mixtos de pastos, árboles y cultivos; cultivos y pastos limpios con porcentajes de 11,93%; 9,51%; 9,19% respectivamente. Para este año, la cobertura de vegetación arbustiva y herbácea adyacente al cuerpo de agua representa únicamente el 1,14% del área total. Las áreas artificializadas o construcciones a gran escala que comprende zonas urbanas y cultivos confinados (invernaderos) son inexistentes.

Figura 17. Cobertura del suelo 1963

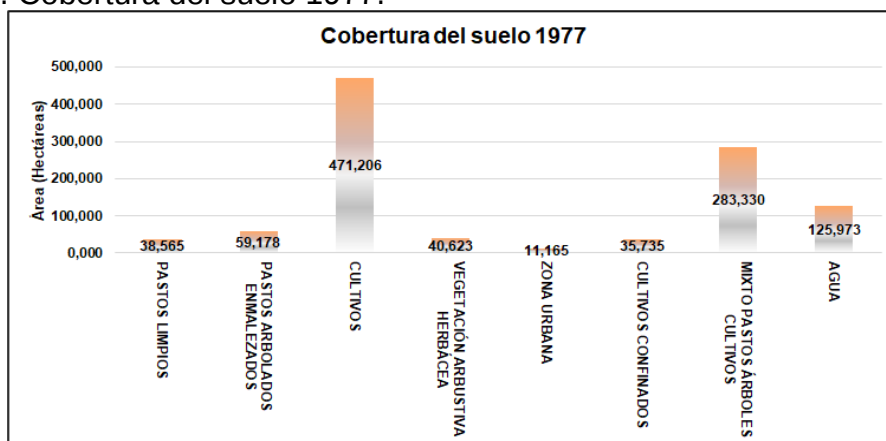


Fuente: autores.

6.3.2.2 Identificación de coberturas 1977. El año 1977 se caracterizó por el aumento de la frontera agrícola, abarcando el 44,21% de la superficie; de igual manera, se incrementó la cobertura de pastos, árboles y cultivos, ascendiendo al 26,58%. La vegetación arbustiva herbácea se incrementó alcanzando el 3,81% del área. Para este periodo, la zona urbana del casco urbano del municipio y las construcciones para la implementación de cultivos confinados pasaron de ser inexistentes a abarcar el 1,05% y 3,35% respectivamente (ver figura 18).

Por otro lado, se observa la pérdida del espejo del agua en un 14,93% con respecto al periodo anterior, abarcando únicamente el 11,82% del área total. Los pastos limpios y pastos arbolados enmalezados también se vieron afectados por el aumento de cultivos y descendieron su cobertura hasta un porcentaje de 3,62% y 5,55%.

Figura 18. Cobertura del suelo 1977.

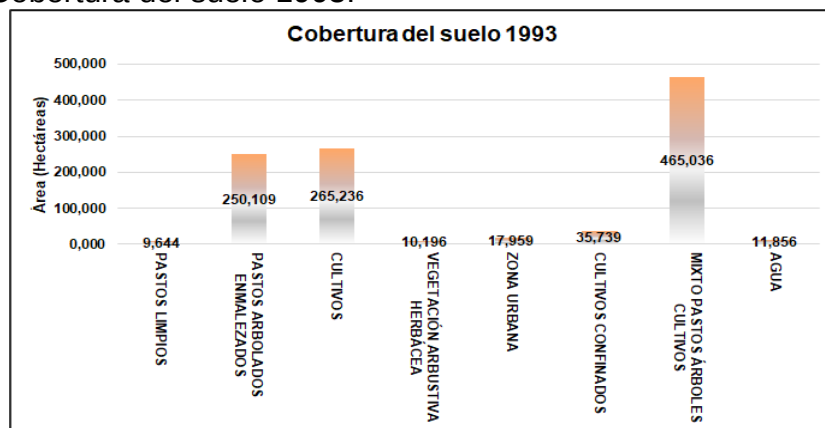


Fuente: autores.

6.3.2.3 Identificación de coberturas 1993. En el año 1993 se evidencia el aumento significativo de los pastos arbolados, enmalezados (23,47%) y mixtos de pastos árboles y cultivos (43,63%). La zona urbana se expande sin variaciones abruptas, pero aun así se abre paso entre la zona de conservación de humedal, alcanza el 1,69% y los cultivos confinados mantienen se mantienen en el porcentaje anterior 3,35%.

Los cultivos presentan un retroceso importante y disminuyen su área hasta el 24,83%; así mismo, los pastos limpios disminuyen su cobertura hasta el 0,90% y el área recuperada por la vegetación arbustiva, herbácea decae nuevamente a un porcentaje menor al del año 1963, esta vez sólo cubre el 0,96%. Se denota una disminución considerable en el espejo del agua reduciendo su superficie al 1,11% (ver figura 19).

Figura 19. Cobertura del suelo 1993.

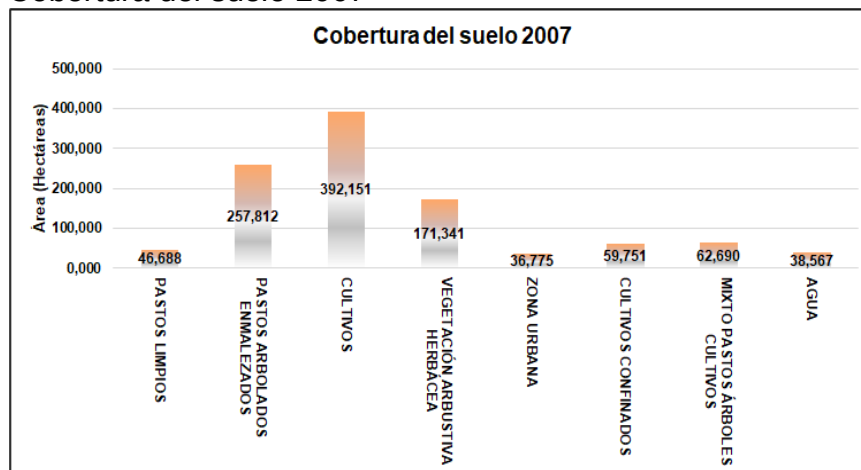


Fuente: autores.

6.3.2.4 Identificación de coberturas 2007. Como se evidencia en la figura 20, el año 2007 se caracteriza particularmente por suelos ocupados por cultivos y pastos arbolados, enmalezados con áreas que representan el 36,79% y 24,19% respectivamente. En menor medida, pero con una ampliación significativa del área con respecto a los periodos anteriores se encuentra vegetación arbustiva, herbácea ocupando el 16,08% del suelo. Las zonas heterogéneas de pastos, árboles y cultivos sucedieron a otro tipo de coberturas y para este año representan el 5,88% del área total. La zona urbana continúa en su crecimiento progresivo al igual que la implementación de cultivos confinados cubriendo el 3,45% y 5,61% del suelo.

Los pastos limpios cubren el 4,38% y el espejo de agua representa el 3,62%.

Figura 20. Cobertura del suelo 2007

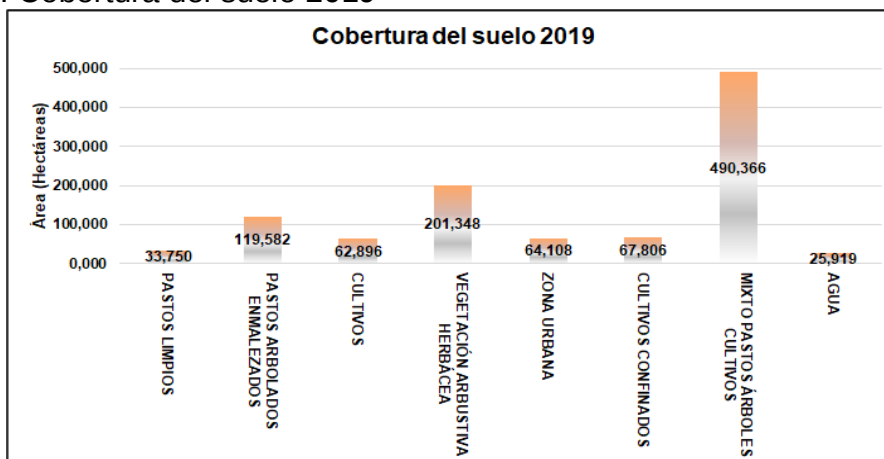


Fuente: autores.

6.3.2.5 Identificación de coberturas 2019. En el año 2019 se evidencia predominancia de zonas con mosaicos de pastos, árboles y cultivos a lo largo del humedal (46,01%), seguido de vegetación arbustiva, herbácea (18,89%) en lo que con anterioridad ocupaba el espejo de agua y que para este año desciende al 2,43%. Los pastos con presencia de malezas y árboles ocupan el 11,22% del área total, mientras que en los pastos limpios y cultivos se ve reflejada una disminución con respecto al 2007 cubriendo el 3,17% y 5,90%.

Las áreas artificializadas por tejido urbano e industrialización de cultivos en invernaderos continúan en aumento y para este año pasan a cubrir el 6,02% y 6,06% respectivamente (ver figura 21).

Figura 21. Cobertura del suelo 2019



Fuente: autores.

## 6.4 PRUEBA ESTADÍSTICA DE VARIACIÓN DE COBERTURAS

La prueba estadística busca evaluar la significancia de la variación del cambio de cobertura entre intervalos de tiempo empezando en el periodo 1963-1977 y finalizando en el periodo 2007-2019; así mismo, se realizó la prueba para el cambio de coberturas en todo el periodo de tiempo estudiado (1963-2019). Para ello se tuvieron en cuenta las coberturas en conjunto, realizando un análisis por área total y no por cada una de las coberturas. La distribución de los datos, así como su mediana se observan en la figura 22 y los valores estadísticos para la prueba no paramétrica con una confiabilidad de los datos del 95%, evaluado en un rango de 5% en la distribución normal se observan en la tabla 4.

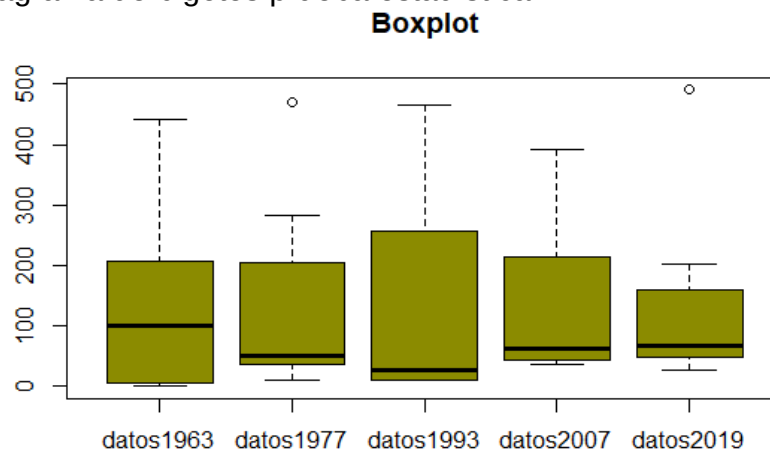
### 6.4.1 Análisis descriptivo.

En la prueba estadística de Wilcoxon, la hipótesis nula ( $H_0$ ) se establece como:

$H_0 =$  El cambio de cobertura no presenta variación significativa entre periodos.

La prueba estadística cuenta con un nivel de significancia de 0.05 (5%) en la distribución normal, es decir, si la prueba evidencia valores (P-Valor) inferiores a 0.05, la hipótesis nula se rechaza y, por tanto, se entiende que la diferencia entre las medianas (variación del área de cada una de las coberturas del suelo) en los periodos comparados es significativa (posee variación considerable).

Figura 22. Diagrama de bigotes prueba estadística.



Fuente: autores.

Tabla 4. Resultados de la prueba estadística (Wilcoxon).

| PERIODO   | P-VALOR | RESULTADO                                                                                                              |
|-----------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1963-1977 | 1       | No se rechaza la hipótesis nula. No hay suficiente evidencia estadística para concluir que las muestras son diferentes |
| 1977-1993 | 0.8438  | No se rechaza la hipótesis nula. No hay suficiente evidencia estadística para concluir que las muestras son diferentes |
| 1993-2007 | 0.1953  | No se rechaza la hipótesis nula. No hay suficiente evidencia estadística para concluir que las muestras son diferentes |
| 2007-2019 | 1       | No se rechaza la hipótesis nula. No hay suficiente evidencia estadística para concluir que las muestras son diferentes |
| 1963-2019 | 0,9453  | No se rechaza la hipótesis nula. No hay suficiente evidencia estadística para concluir que las muestras son diferentes |

Fuente: autores.

Se evidencia que para los 5 periodos no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de diferencia significativa, por lo tanto, en todos los periodos analizados se afirma que no hay diferencia significativa según la prueba estadística no paramétrica de Wilcoxon.

Para ninguna prueba se rechaza la hipótesis nula, teniendo en cuenta que la medida de tendencia central (mediana) para todos los años es muy parecida.

## 6.5 VALORACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS CON RESPECTO AL CAMBIO DE COBERTURA

En la tabla 5 se relacionan los servicios ecosistémicos con las coberturas del suelo, las coberturas del suelo corresponden a las identificadas anteriormente y, los servicios ecosistémicos expuestos se relacionan con servicios propios del humedal Gualí-Tres Esquinas

Tabla 5. Servicios ecosistémicos y coberturas asociadas.

| <b>Clasificación de los servicios ecosistémicos</b> | <b>Servicio ecosistémico</b>                  | <b>Descripción</b>                                                                           | <b>Cobertura</b>                                                  |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Aprovisionamiento                                   | Alimento                                      | Producción de pescado, caza, frutas, verduras y granos                                       | -Cultivos<br>-Mixtos pastos-árboles-cultivos                      |
|                                                     | Agua                                          | Almacenamiento y retención para irrigación y usos doméstico e industrial                     | -Agua                                                             |
|                                                     | Fibra y combustible                           | Producción de troncos, leña y forrajes                                                       | -Vegetación arbustiva-herbácea<br>-Mixtos pastos-árboles-cultivos |
| Regulación                                          | Regímenes hidrológicos                        | Recarga y descarga de agua subterráneas; almacenamiento de agua para agricultura o industria | -Agua<br>-Vegetación arbustiva-herbácea                           |
|                                                     | Control de la contaminación de detoxificación | Retención, recuperación y eliminación del exceso de nutrientes y contaminantes               | -Agua<br>-Vegetación arbustiva-herbácea                           |
|                                                     | Protección contra la erosión                  | Retención de suelos y prevención de cambios estructurales (erosión)                          | -Vegetación arbustiva-herbácea                                    |
|                                                     | Desastres naturales                           | Control de inundación, protección contra las tormentas                                       | -Vegetación arbustiva-herbácea<br>-Mixtos pastos-árboles-cultivos |
| Culturales                                          | Espirituales y de inspiración                 | Sentimientos y bienestar personal; significado religioso                                     | -Agua<br>-Vegetación arbustiva-herbácea                           |
|                                                     | Recreativos                                   | Oportunidades para turismo y Recreación.                                                     | -Agua<br>-Vegetación arbustiva-herbácea                           |

Tabla 5. (Continuación).

| <b>Clasificación de los servicios ecosistémicos</b> | <b>Servicio ecosistémico</b>                      | <b>Descripción</b>                                                     | <b>Cobertura</b>                                                                                           |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Culturales                                          | Estéticos                                         | Apreciación de las bellezas naturales                                  | -Agua<br>-Vegetación arbustiva-herbácea                                                                    |
|                                                     | Educacionales                                     | Oportunidades para la educación formal y no formal y para capacitación | -Zona urbana<br>-Agua<br>-Vegetación arbustiva-herbácea<br>-Mixtos pastos-árboles-cultivos                 |
| Soporte                                             | Biodiversidad                                     | Hábitat para especies residentes o transitorias                        | -Vegetación arbustiva-herbácea<br>-Mixtos pastos-árboles-cultivos                                          |
|                                                     | Formación de suelos y sumidero de CO <sub>2</sub> | Retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica              | -Mixtos pastos-árboles-cultivos<br>-Vegetación arbustiva-herbácea                                          |
|                                                     | Ciclo de los nutrientes                           | Almacenaje, reciclaje, procesamiento y adquisición de nutrientes       | -Agua<br>-Vegetación arbustiva-herbácea<br>-Pastos arbolado enmalezados<br>-Mixtos pastos-árboles-cultivos |

Fuente: (MEA, 2005).

- Cambio en la cobertura del suelo asociada al aprovisionamiento de alimento:

En cuanto al SE de aprovisionamiento de alimentos por agricultura (Tabla 6), se puede observar que para 1963 empezó con un área de 101,312, es decir el 9,51% del humedal se dedicaba a la producción de alimentos a través de cultivos transitorios, para el año 1977 hubo un aumento drástico de 369,894 ha de cultivos con respecto al año anterior, en este periodo se dedujo que se generaron grandes ganancias en los SE de aprovisionamiento de alimentos.

Para el año 1993 hubo una pérdida de 205,97 ha para el área de cultivos con respecto al año anterior, debido al aumento de la cobertura de "mixtos pastos-

árboles-cultivo”, que, aunque aportan al SE de alimento no se tuvo en cuenta debido a que no se conoce precisamente qué área corresponde a cultivos.

Para el año 2007 hubo un aumento de 126,915 ha de cultivos con respecto al año anterior, siendo el segundo periodo en el que se dedujo la mayor producción de alimentos. Y por último en el año 2019 hubo una pérdida drástica de 329,255 ha de cultivos con respecto al año anterior, deduciendo fue el año en donde se generaron grandes pérdidas en los SE de aprovisionamiento de alimentos.

Tabla 6. Cobertura asociada a actividades agrícolas.

| <b>Cobertura</b> | <b>1963 (ha)</b> | <b>1977 (ha)</b> | <b>1993 (ha)</b> | <b>2007 (ha)</b> | <b>2019 (ha)</b> |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Cultivos         | 101,312          | 471,206          | 265,236          | 392,151          | 62,896           |

Fuente: autores.

- Cambio en la cobertura del suelo asociada a agua.

Para el SE de aprovisionamiento de agua se observa que para el año 1963 el espejo de agua era de 285,068 ha, siendo el año en el que se obtuvo grandes ganancias del SE abastecimiento de agua, para uso de riego de cultivos, hidratación para el ganado o para uso doméstico. Para el año 1977 hubo una pérdida de 159,035 ha del cuerpo de agua con respecto al año anterior, por darle paso a cultivos que posteriormente fragmentaron el humedal disminuyendo el espejo de agua y la calidad del agua por el vertimiento o escorrentía de fertilizantes.

Para el año 1993 hubo una drástica disminución del espejo de agua de 114,117 ha con respecto al año anterior, ya que la mayoría de los cultivos que ocuparon el espejo de agua se convirtieron en “mixtos pastos-árboles-cultivos”, siendo uno de los periodos en donde hubo grandes pérdidas para el abastecimiento de agua para uso doméstico, agrícola e industrial, debido a su mala calidad ya presente y de años anteriores sumado a la escasez.

Para el año 2007 hubo un aumento de mínimo 26,711 ha con respecto al año de estudio anterior, se deduce que gracias a la introducción de especies arbóreas del año anterior se recuperó un poco la ronda hídrica, sin embargo, en el año 2007 nuevamente se presentó un drástico aumento de los cultivos, parte del cuerpo de agua se transformó en vegetación arbustiva herbácea y los cultivos confinados y las urbanizaciones e industria ya habían fragmentado el cuerpo de agua, desecándolo.

Finalmente, para el para el año 2019 hubo una disminución de 12,648 ha con respecto al año anterior, se presentó nuevamente un aumento drástico de “mixtos pastos-árboles-cultivos”, la mayoría del cuerpo de agua se convirtió en vegetación arbustiva-herbácea, pastos, pastos arbolados enmalezados y cultivos confinados, generando grandes pérdidas para el SE de aprovisionamiento de agua actualmente (ver Tabla 7).

El instituto Alexander Von Humboldt, en el 2018 presenta una serie de afectaciones a los ecosistemas anfibios (humedales) y, por tanto, establece estrategias de transiciones socioecológicas hacia la sostenibilidad (Andrade G. I., M. E. Chaves, G. Corzo y C. Tapia (eds.). 2018). Particularmente, en el humedal Gualí-Tres Esquinas se evidencian propuestas encaminadas a la delimitación de zonas de preservación, restauración, uso sostenible (actividades ecoturísticas e infraestructura necesaria para tal fin y actividades productivas agropecuarias junto con el debido manejo de plagas) y uso público (zonas para instituciones que realicen actividades de investigación y ecoturismo sin fines productivos, respetando la capacidad de carga que determine la corporación), planteadas en el componente “ordenamiento” del Plan de Manejo Ambiental para el Distrito de Manejo Ambiental propuesto por la CAR

Así mismo, la Alcaldía municipal de Funza en el Plan de Desarrollo (2016-2019) ha generado una serie de “desafíos” que mejoren la calidad ambiental en la ronda hídrica del humedal Gualí-Tres Esquinas, entre las que se encuentran: conciencia ambiental, ambiente más limpio (Este subprograma pretende generar estrategias de conservación, manejo adecuado de residuos reciclables, y puesta en marcha del comparendo ambiente), Funza más verde (programa de reforestación), y Funza agro-sostenible (reducción de la cadena de comercialización) (Vasco Zamudio & Sánchez, 2017).

Tabla 7. Cobertura asociada a espejo de agua.

| <b>Cobertura</b> | <b>1963 (ha)</b> | <b>1977 (ha)</b> | <b>1993 (ha)</b> | <b>2007 (ha)</b> | <b>2019 (ha)</b> |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Agua             | 285,068          | 125,973          | 11,856           | 38,567           | 25,919           |

Fuente: autores.

- Cambio en la cobertura del suelo asociada a la tenencia de ganado y alimentación por ganadería.

Para el SE de aprovisionamiento de alimentos por ganadería, en la tabla 8 se observa que en el año 1963 se cuenta con un área de 97,967 ha, es este periodo se dedujo que favoreció a la tenencia de ganado (vacas lecheras y cabezas de ganado) y a los mejores pastos. Para el año 1977 hubo una pérdida drástica de 59,402 ha para darle paso a cultivos y a “mixtos pastos-árboles-cultivos”, aunque la última cobertura mencionada aporta a la actividad de pastoreo, no se tuvo en cuenta debido a que no se conoce precisamente el valor del área al que corresponde “pastos”.

En el año 1993 igualmente hubo una pérdida de 28,921 ha respecto al año anterior, debido al aumento de la cobertura “mixtos pastos-árboles-cultivo”, en este año se presentó una de las una de las más grandes pérdidas en el SE de aprovisionamiento de alimentos por ganadería por la poca cobertura destinada al pastoreo del ganado. Para el año 2007 hubo un aumento de 37,044 respecto al año anterior, siendo el segundo periodo en el que se produjo un aumento en las ganancias en el pastoreo del ganado, debido a que se convirtió parte de la cobertura “mixtos pastos-árboles-cultivos” a pastos limpios. Por último, en el año 2019 hubo una disminución de 12,938 ha con respecto al año anterior, debido a que los pastos limpios se convirtieron en “mixtos pastos-árboles-cultivos”, teniendo casi la misma situación presentada en el año 1977.

Tabla 8. Cobertura asociada a actividades ganaderas.

| <b>Cobertura</b> | <b>1963 (ha)</b> | <b>1977 (ha)</b> | <b>1993 (ha)</b> | <b>2007 (ha)</b> | <b>2019 (ha)</b> |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Pastos limpios   | 97,967           | 38,565           | 9,644            | 46,688           | 33,750           |

Fuente: autores

- Cambio en la cobertura del suelo asociada a la captación de CO<sub>2</sub>.

Para el SE de soporte captación de CO<sub>2</sub> se observa en la tabla 9 que para el año 1963 había un área de 442,152 ha de pastos arbolados, donde se observa fue el periodo en el que pudo generar mayores ganancias de captación de CO<sub>2</sub>, también se observa que la vegetación herbácea o arbustiva, con mayores pérdidas de captación de CO<sub>2</sub> fueron la vegetación arbustiva y herbácea, que no se tuvieron en cuenta.

En el año 1977 hubo una pérdida drástica de 382,974 ha de pastos arbolados, siendo el periodo en el que se generaron mayores pérdidas de captación de CO<sub>2</sub>,

por el establecimiento de cultivos, en el área del bosque. Para el año 1993 y 2007 hubo un drástico aumento de en el área del bosque con 190,931 ha, debido al establecimiento de especies arbóreas introducidos en donde se ubicaba el espejo de agua del humedal, igualmente se evidenciaba que el área de zona urbana e industrial ya venía en aumento, por lo que el establecimiento de un cordón arbóreo era lo más precisos para la captación de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Para el año 2007 se presentó un aumento de 7,703 ha, algunas áreas destinadas al cultivo se transformaron en bosques, igualmente se observa que, aunque en menor medida prestan el SE de captación de CO<sub>2</sub> la vegetación herbácea-arbustiva su área aumentó. Finalmente, para el año 2019 se observa que hubo una pérdida drástica de 138,23 ha de bosque, para darle paso a pastos-árboles-cultivos, aunque aportan al SE de captación de CO<sub>2</sub>, no se tuvo en cuenta al no conocer precisamente el área de cobertura boscosa.

Tabla 9. Cobertura asociada a vegetación.

| <b>Cobertura</b>             | <b>1963 (ha)</b> | <b>1977 (ha)</b> | <b>1993 (ha)</b> | <b>2007 (ha)</b> | <b>2019 (ha)</b> |
|------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Pastos arbolados enmalezados | 442,152          | 59,178           | 250,109          | 257,812          | 119,582          |

Fuente: autores.

## 6.6 AFECTACIÓN DEL CAMBIO DE COBERTURA SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Los humedales como ecosistemas estratégicos prestan una serie de funciones o servicios ecosistémicos que pueden resultar afectados por la variación de la vocación del uso del suelo. En la tabla 10 se relacionan los servicios ecosistémicos que resultan alterados y asociados a cada una de las coberturas observadas en el área de conservación del humedal Gualí-Tres Esquinas. Los servicios ecosistémicos aquí presentados se relacionan exclusivamente con los de magnitud alta y media para humedales de interés continental pertenecientes a arroyos permanentes y temporales.

Tabla 10. Afectación del cambio de cobertura sobre los servicios ecosistémicos.

| Tipo de cobertura | Servicios ecosistémicos alterados                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Servicios ecosistémicos asociados                                                                                                                                                    | Afectación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zona urbana       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimento</li> <li>• Agua</li> <li>• Fibra y combustible</li> <li>• regímenes hidrológicos</li> <li>• Control de la contaminación</li> <li>• Protección contra la erosión</li> <li>• Desastres naturales</li> <li>• Espirituales</li> <li>• Recreación</li> <li>• Estéticos</li> <li>• Biodiversidad</li> <li>• Formación de suelos y sumidero de CO2</li> <li>• Ciclo de nutrientes</li> </ul> | Educativos                                                                                                                                                                           | <p>El cambio de cobertura de árboles, pastos y cultivos por zonas urbanas en el sur y noreste del humedal representa una pérdida progresiva del área de conservación, abarcando 64,108 ha en el año 2019.</p> <p>Las afectaciones negativas más relevantes que trae consigo el aumento de la zona urbana (doméstica e industrial) sobre los servicios ecosistémicos se reflejan en que: fragmenta el ecosistema, reduce las poblaciones vegetales y con ello la biodiversidad; incrementa la carga contaminante (este proceso disminuye el oxígeno disuelto, desencadenando procesos de eutrofización) y altera las dinámicas hidráulicas.</p> |
| Cultivos          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua</li> <li>• Fibra y combustible</li> <li>• Regímenes hidrológicos</li> <li>• Control de la contaminación</li> <li>• Protección contra la erosión</li> <li>• Desastres naturales</li> <li>• Espirituales y de inspiración</li> <li>• Recreativos</li> <li>• Estéticos</li> <li>• Biodiversidad</li> <li>• Formación de suelos y</li> </ul>                                                  | <p>Alimentos</p> <p>Control de la contaminación</p> <p>Estéticos</p> <p>Educativos</p> <p>Biodiversidad</p> <p>Formación de suelos y sumideros de CO2</p> <p>Ciclo de nutrientes</p> | <p>El área ocupada por cultivos en el periodo de estudio presenta cifras importantes de 471,206 ha, 392,151 ha y 265,236 ha, y cifras menores no inferiores a 60 ha; La variabilidad de las cifras radica en la transitoriedad de los cultivos, pertenecientes a tubérculos, cereales y hortalizas (Alcaldía municipal de Funza Cundinamarca, 2018).</p> <p>Los cultivos y los humedales interactúan</p>                                                                                                                                                                                                                                       |

Tabla 10. (Continuación).

| Tipo de cobertura   | Servicios ecosistémicos alterados                                                                                                                                                                                                                                                                       | Servicios ecosistémicos asociados                                                                                        | Afectación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cultivos            | <p>sumideros de CO<sub>2</sub></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciclo de nutrientes</li> </ul>                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                          | <p>entre sí; es el caso del humedal Gualí que permite el riego de cultivos y a cambio éste puede recibir beneficios de protección y biodiversidad; sin embargo, malas prácticas agrícolas y expansión incontrolada de la frontera afectan a los humedales en cantidad y calidad.</p> <p>Los impactos negativos que pueden llegar a sufrir los humedales son: reducción de caudal por uso indebido del agua superficial o subterránea, aumento incontrolado de caudal por excesiva remoción de la cobertura vegetal, incremento de carga contaminante por pesticidas, herbicidas y fertilizantes, introducción e incremento de plagas por monocultivos y alteración de los ciclos de reproducción, migración y alimentación de la fauna (Ramsar, 2014).</p> |
| Cultivos confinados | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua</li> <li>• Fibra y combustible</li> <li>• Regímenes hidrológicos</li> <li>• Control de la contaminación</li> <li>• Protección contra la erosión</li> <li>• Desastres naturales</li> <li>• Espirituales y de inspiración</li> <li>• Recreativos</li> </ul> | <p>Alimentos</p> <p>Control de la contaminación</p> <p>Educacionales</p> <p>Biodiversidad</p> <p>Ciclo de nutrientes</p> | <p>La cobertura de cultivos confinados presenta cambios expansivos; inicialmente se caracteriza por la ausencia de este tipo de cultivos pasando a ocupar el 35,735 ha en el año 1977 y alcanzar las 67,806 ha para el 2019; este tipo de cultivos se relacionan principalmente con floricultivos en el centro-norte del humedal</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Tabla 10. (Continuación).

| Tipo de cobertura   | Servicios ecosistémicos alterados                                                                                                                                                                                                        | Servicios ecosistémicos asociados                                                                                                       | Afectación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cultivos confinados | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estéticos</li> <li>• Biodiversidad</li> <li>• Formación de suelos y sumideros de CO2</li> <li>• Ciclo de nutrientes</li> </ul>                                                                  |                                                                                                                                         | <p>y se percibe hacen uso del agua del cuerpo por su cercanía. Este tipo de cultivos es propio de la sabana de Bogotá en cuerpos de agua adyacentes al río Bogotá.</p> <p>Aunque la representatividad en cuanto a área se refiere no es significativa, se involucran aspectos ambientales de alto impacto sobre los servicios ecosistémicos, destacándose la afectación al componente hidrológico por uso excesivo de agua y vertimientos contaminantes; reducción de flora nativa y endémica y con ello especies faunísticas; alteración de las propiedades fisicoquímicas del suelo por cambio de vocación y uso de agroquímicos; reducción de la calidad paisajística; contaminación del aire producto de combustión; entre otros (Flórez &amp; Holguín, 2018).</p> |
| Pastos limpios      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua</li> <li>• Fibra y combustibles</li> <li>• Regímenes hidrológicos</li> <li>• Control de la contaminación</li> <li>• Protección contra la erosión</li> <li>• Desastres naturales</li> </ul> | <p>Alimentos</p> <p>Protección contra la erosión</p> <p>Ciclo de nutrientes</p> <p>Espirituales y de inspiración</p> <p>Recreativos</p> | <p>Los pastos limpios presentaron fluctuaciones en el periodo de estudio; así, el auge se presentó en el año 1963 (97,967 ha) y declive en 1993 (9,644 ha). Actualmente (2019) el área de interés cuenta con 33,750 ha de terreno que comprenden este tipo de cobertura.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

Tabla 10. (Continuación).

| Tipo de cobertura | Servicios ecosistémicos alterados                                                                                                                                   | Servicios ecosistémicos asociados | Afectación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pastos limpios    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espirituales y de inspiración</li> <li>• Biodiversidad</li> </ul> <p>Formación de suelos y sumideros de CO<sub>2</sub></p> | Educativos                        | <p>Cabe resaltar que el área ocupada por pastos arbolados en 1993 y por agua en 1977, se destinó a pastos limpios para el 2007, evidenciando un cambio constante y continuo del suelo.</p> <p>La destinación de los pastos limpios tiene como principal actividad económica la ganadería; específicamente en el municipio se destaca el ganado vacuno productor de leche.</p> <p>El cambio de cobertura a pastos limpios afecta directamente al recurso hídrico en tanto disminuye la capacidad de retención del suelo, incrementando la susceptibilidad a crecidas; reduce la capacidad de asimilación a contaminantes comparado con suelos que poseen vegetación arbórea, arbustiva y herbácea, afectando a su vez a especies faunísticas endémicas, migratorias y nativas.</p> <p>Por otra parte, el incremento de la frontera ganadera genera impactos como compactación del suelo lo que evita la asimilación de contaminantes y reducción de porosidad e incrementa la erosión; aumenta la producción de gases de efecto</p> |

Tabla 10. (Continuación).

| Tipo de cobertura              | Servicios ecosistémicos alterados                                                                                                                                                                                                                   | Servicios ecosistémicos asociados                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Afectación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | invernadero (NOx) y requiere de abundante agua para su producción (Coy Tello & Suárez, 2017).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Pastos arbolados enmalezados   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regímenes hidrológicos</li> <li>• Desastres naturales</li> <li>• Estéticos</li> <li>• Biodiversidad</li> <li>• Formación de suelos y sumideros de CO<sub>2</sub></li> <li>• Ciclo de nutrientes</li> </ul> | <p>Alimento</p> <p>Agua</p> <p>Fibra y combustible</p> <p>Regímenes hidrológicos</p> <p>Control de la contaminación</p> <p>Protección contra la erosión</p> <p>Espirituales y de inspiración</p> <p>Recreativos</p> <p>Estéticos</p> <p>Educacionales</p> <p>Biodiversidad</p> <p>Formación de suelos y sumideros de CO<sub>2</sub></p> <p>Ciclo de nutrientes</p> | <p>El establecimiento de pastos, árboles y cultivos en el noroeste del humedal ha provocado la eliminación de la comunidad arbórea nativa de que se encontraba en las riberas del espejo de agua, representada en la cobertura de pastos arbolados enmalezados, para el año 2019 el bosque tenía 119,582 ha.</p> <p>Los impactos negativos provocados por la eliminación de la cobertura boscosa en los servicios ecosistémicos directamente son: los ciclos biogeoquímicos, la regulación de la temperatura, la captura de CO<sub>2</sub>, escasez de refugio y alimento para gran variedad de especies nativas y migratorias.</p> |
| Mixtos pastos-árboles-cultivos | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua</li> <li>• Fibra y combustible</li> <li>• Regímenes hidrológicos</li> <li>• Control de la contaminación</li> <li>• Protección contra la erosión</li> <li>• Desastres</li> </ul>                       | <p>Alimento</p> <p>Agua</p> <p>Fibra y combustible</p> <p>Regímenes hidrológicos</p> <p>Control de la contaminación</p>                                                                                                                                                                                                                                            | <p>La cobertura pastos, árboles y cultivos se estableció para el año 2019 490,366 ha, en donde se desarrollan actividades tanto agrícolas como ganaderas, eliminando las especies arbóreas nativas que brindan un servicio ecosistémico para el</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

Tabla 10. (Continuación).

| Tipo de cobertura              | Servicios ecosistémicos alterados                                                                                                                                                                                                                            | Servicios ecosistémicos asociados                                                                                                                                                                                                                                    | Afectación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mixtos pastos-árboles-cultivos | <ul style="list-style-type: none"> <li>• naturales</li> <li>• Espirituales y de inspiración</li> <li>• Recreativos</li> <li>• Estéticos</li> <li>• Biodiversidad</li> <li>• Formación de suelos y sumideros de CO2</li> <li>• Ciclo de nutrientes</li> </ul> | <p>Protección contra la erosión</p> <p>Espirituales y de inspiración</p> <p>Recreativos</p> <p>Estéticos</p> <p>Educacionales</p> <p>Biodiversidad</p> <p>Formación de suelos y sumideros de CO2</p>                                                                 | <p>humedal, para el establecimiento de cerca naturales con especies arbóreas como el eucalipto, cipreses y sauces para delimitar propiedades.</p> <p>Los impactos negativos sobre los servicios ecosistémicos son: introducción de especies invasoras que no cumplen la función ecosistémica de que las especies nativas alteran las pautas de reproducción y alimentación y migración de la fauna del humedal, y desabastecimiento de agua por el uso excesivo en el riego de cultivos.</p>                                                         |
| Vegetación arbustiva-herbácea  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua</li> <li>• Protección contra la erosión</li> <li>• Control de la contaminación</li> </ul>                                                                                                                      | <p>Alimentos</p> <p>Agua</p> <p>Fibra y combustible</p> <p>Regímenes hidrológicos</p> <p>Control de la contaminación</p> <p>Protección contra la erosión</p> <p>Desastres naturales</p> <p>Espirituales y de inspiración</p> <p>Recreativos</p> <p>Educacionales</p> | <p>La cobertura de vegetación arbustiva herbácea presente siempre en la ribera del espejo de agua, para el año 2007 y 2019 expandieron su frontera y ahora se encuentra establecida dentro del espejo de agua del humedal, habiendo para el año 2019 201,348 ha, el año más representativo para esta cobertura. Recientemente, el espejo de agua se ha venido reemplazado por esta vegetación arbustiva-herbácea (micrófitos), debido al vertimiento de aguas residuales tanto domésticas como industriales, con un alto contenido de nutrientes</p> |

Tabla 10. Continuación).

| Tipo de cobertura             | Servicios ecosistémicos alterados                                                                                      | Servicios ecosistémicos asociados                                                                                                                                                                                                                                 | Afectación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vegetación arbustiva-herbácea |                                                                                                                        | Biodiversidad<br>Formación de suelos y sumideros de CO <sub>2</sub><br>Ciclo de nutrientes                                                                                                                                                                        | <p>orgánicos e inorgánicos que han provocado eutrofización.</p> <p>Los efectos negativos que representa la expansión de la cobertura herbácea-arbustiva (micrófitos) son el aprovisionamiento de alimento por la pesca, debido a la disminución de oxígeno disuelto en el agua, provocando la muerte de peces.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Agua                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Almacenamiento y filtración de agua</li> <li>Control de inundaciones</li> </ul> | Alimentos<br>Agua<br>Regímenes hidrológicos<br>Control de la contaminación<br>Espirituales y de inspiración<br>Recreativos<br>Estéticos<br>Biodiversidad<br>Formación de suelos y sumideros de CO <sub>2</sub><br>Ciclo de nutrientes<br>Reserva de biodiversidad | <p>La pérdida del espejo de agua provocado por la extensión de la frontera de pastos árboles y cultivo, el establecimiento de zonas urbanizadas y la vegetación herbácea y arbustiva que dan cabida a la eutrofización, provocada por el vertimiento de aguas residuales industriales y domésticas, fragmentaron el humedal, teniendo 25,919 ha de espejo de agua, para el año 2019.</p> <p>Las afectaciones negativas producto de la pérdida del espejo de agua sobre los servicios ecosistémicos son: la falta de aprovisionamiento de agua para uso doméstico y agropecuario, pérdida de los reservorios, alteración a la regulación de los flujos hídricos, provocando inundaciones y erosión en el suelo por falta de cobertura vegetal.</p> |

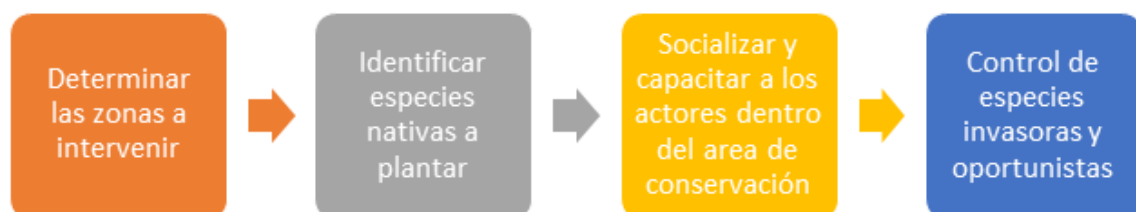
Fuente: autores.

## 6.7 ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN

- RESTAURACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL A TRAVÉS DE ESPECIES NATIVAS Y FUNCIONALES

A través del análisis multitemporal de la cobertura del suelo que se realizó para el área de conservación del humedal Gualí Tres Esquinas y revisando la problemática, originalmente el humedal estaba rodeado en sus riberas por comunidades arbóreas y arbustivas de diferentes especies, pero esta vegetación fue eliminada para darle paso a cultivos y pastizales para la ganadería (Henao, 2004). Por lo que se propone realizar una restauración de las coberturas vegetales, a través de la selección de un grupo de especies vegetales funcionales típicas del propio ecosistema (Ver figura 23).

Figura 23. Propuesta de restauración de la cobertura vegetal



Fuente: autores.

Para la propuesta de restauración de la cobertura vegetal se llevará a cabo en las coberturas correspondientes a pastos limpios y mixtos pastos-árboles-cultivos, en donde el uso del suelo es agropecuario. Se utilizarán especies nativas, principalmente alisos, arrayán, sauco, chilco, duraznillo; el objetivo es la conformación de una masa boscosa alrededor del cuerpo de agua similar a la original, para que cumpla las funciones de protección y subsidio al ecosistema pantanoso y que tiene como función la conservación de la biodiversidad. Todos los individuos indeseables o plantados para hacer una barrera entre predios que presenten un problema para el establecimiento de plantaciones serán eliminados (Henao, 2004).

Tabla 11. Especie vegetal nativa y su nombre científico.

| Nombre común | Nombre científico            |
|--------------|------------------------------|
| Alisos       | <i>Alnus acuminata</i>       |
| Arrayan      | <i>Myrcianthes leucoxyla</i> |
| Sauco        | <i>Sambucus peruviana</i>    |
| Chilco       | <i>Baccharis latifolia</i>   |
| Duraznillo   | <i>Abatia parviflora</i>     |

Fuente: (Henao, 2004).

Además, dentro de la zona conservación se llevan a cabo usos indebidos del suelo con respecto a lo estipulado en el Acuerdo 001 de 2014, sin embargo, estos predios se encuentran referenciados por la actividad que desarrollan, el uso del predio, localización (municipio o vereda), el área que ocupa, los impactos y los problemas. Actualmente, tanto sus predios como actividades (agricultura y ganadería) ya están establecidas dentro del área de estudio, por lo que no es posible llegar a una erradicación completa de los usos indebidos en el área de conservación. Es necesario que los dueños de los predios principalmente de los que practican ganadería, lleven a cabo el establecimiento de barreras vivas con la siembra de árboles nativos, que además de generar una zona boscosa que protegerá al cuerpo de agua, se beneficiará el ganado a través de los sistemas silvopastoriles, principalmente protegiendo del sol en las temporadas secas, lo que se traducirá en más producción de leche y carne.

- RECONSTRUCCIÓN MORFOLÓGICA DEL CUERPO DEL HUMEDAL

Se evidencia la pérdida del espejo de agua del humedal producto de la construcción de diques y reservorios de agua para cambiar los flujos hidrológicos, para su uso en la agricultura y la ganadería. Lo que se propone es la reconstrucción morfológica del cuerpo de agua a través del dragado de rellenos y la eliminación de diques y represas, para permitir el flujo adecuado de agua. Además, se complementará con las actividades de restauración de la cobertura vegetal (Figura 24) (Henao, 2004).

Figura 24. Proceso propuesto para la reconstrucción morfológica del humedal.



Fuente: autores, basados en (Henao, 2004).

Para la propuesta de reconstrucción morfológica del humedal, se planteó primero determinar los cauces que se encuentran alterados, esto depende de las actividades que se realicen en el predio o lugar y las condiciones del terreno. Segundo se identificarán los principales reservorios y para qué actividades se usa el agua, para hacer un trazado del trayecto a dragar y a eliminar como un precedente para futuras intervenciones, por lo que es necesario que a los propietarios contiguos al humedal se les informe de la propiedad que tiene el estado sobre los terrenos del humedal. Por último, se removerá y se trasladará el material que impedía y cambiaba el flujo hidrológico del humedal.

Es de suma importancia verificar la aceptabilidad que tendrá la propuesta de eliminar los diques o represas, por lo que es necesario socializar en conjunto con la CAR el deber de recuperar y brindar las condiciones propicias para el desarrollo de la biota, y mejorar la calidad y cantidad del recurso hídrico, posteriormente escuchar la contraparte y llegar un acuerdo mutuo con los actores principales. Además, teniendo en cuenta la incidencia de cultivos de hortalizas, cultivos confinados y grandes extensiones de pastos se puede implementar un sistema de riego eficiente con el uso del agua, como los son los sistemas de riego por goteo. Estos sistemas tienen algo en particular, y es que humedecen el suelo uniformemente y tienen un mínimo contacto con la parte comestible del cultivo, teniendo en cuenta que actualmente el agua del humedal se encuentra altamente contaminada.

## 7. IMPACTO SOCIAL

Una vez entendido que los servicios ecosistémicos son beneficios en pro del ecosistema e inherentes al ser humano y que el uso que se le está proporcionando al suelo dentro del área de conservación del humedal Gualí-Tres Esquinas está afectando la oferta de estos servicios, se definieron unas estrategias de conservación dirigidas al manejo de los recursos y mitigar el cambio de la coberturas que benefician la oferta de los mismos, a través de la restauración del bosque nativo por medio de la plantación de especies nativas funcionales, principalmente donde se practica la agricultura extensiva, la ganadería y la industria, evitando el avance de estas prácticas hacia el espejo de agua del humedal; restaurar morfológicamente el cuerpo de agua y adelantar estrategias de conservación dirigidas a la restauración ecológica del humedal para devolverle su potencial ecológico.

A través de las estrategias de conservación se busca generar bienestar económico y ambiental dentro del área de conservación, de acuerdo a lo establecido en el Acuerdo 001 de 2014, en donde se establecen los usos principales que son la protección del cuerpo de agua, restringiendo el establecimiento de nuevos usos indebidos. Para esto, el distrito de manejo integrado del humedal delimitó el área denominada “subzona para el desarrollo”, donde se podrán llevar a cabo actividades productivas.

La contribución social que estas estrategias pueden aportar a los vecinos del humedal Gualí es generar un equilibrio entre ambiente, desarrollo y sociedad. Sí las condiciones de vida y estabilidad del ecosistema se conservan, de manera recíproca se fortalecerán los sistemas productivos dependientes de los servicios que el ecosistema ofrece; así mismo, la calidad de salud de las personas que habitan la ronda del humedal aumentará, se podrá contar con mayor abastecimiento de alimentos y, como se estipula en el Plan De Manejo Ambiental, se delimitará una zona de esparcimiento público.

El resultado de tomar conciencia y realizar tareas encaminadas al mejoramiento de la salud de los ecosistemas impacta directamente a la calidad de vida del ser humano; sin embargo, se requieren acciones integrales entre gobierno, academia, sociedad y empresarios para que estos esfuerzos sean plausibles; de lo contrario, el desarrollo anhelado por la humanidad se verá limitado.

## 8. CONCLUSIONES

En un periodo de 56 años (1963 - 2019), mediante el análisis de las fotografías aéreas, se evaluó la variación de coberturas del área de conservación del humedal Gualí-Tres Esquinas propuesto por la CAR, relacionándose directamente con el uso potencial que estas coberturas desarrollan, apoyados por prácticas agrícolas, pecuarias e industriales propias del área de estudio. Acto seguido, la anterior información se enlazó con los servicios ecosistémicos que ha prestado el humedal, generando una relación entre cobertura, uso y servicios ecosistémicos; resultando en una herramienta que permite establecer acciones y estrategias que contribuyan a la conservación y mejoramiento del ecosistema en el municipio de Funza.

Finalmente se encontró que las coberturas asociadas con el uso potencial que causan mayor impacto en la prestación de servicios ecosistémicos son:

- Zona urbana: genera contaminación con residuos sólidos y líquidos reflejados en pérdida de capacidad productiva del suelo, incremento de emisiones de gases de efecto invernadero y procesos de eutrofización. Así mismo, fragmenta el humedal, compacta el suelo, disminuye la calidad paisajística y altera los procesos hidráulicos propios de un humedal. Por tanto, 13 de 14 servicios ecosistémicos aquí expuestos resultan afectados negativamente, con el incremento de esta cobertura.
- Pastos limpios: cobertura asociada a uso ganadero que impacta en la capacidad de retención y escurrimiento de aguas superficiales y subterráneas; emisión de gas metano y pérdida de vegetación para establecimiento de pasto kikuyo. El servicio ecosistémico que presenta mayor afectación es la regulación de régimen hidrológico.
- Cultivos libres y confinados: este tipo de cobertura puede llegar a hacer uso excesivo de agua para riego, requiere la pérdida de cobertura vegetal para establecimiento de monocultivos (principalmente) y requiere la incorporación de agroquímicos para aumentar la producción. El régimen hidrológico es el servicio ecosistémico que resulta con mayor afectación, seguido del ciclo de nutrientes.

El análisis multitemporal permitió observar los cambios en el tiempo y espacio de la pérdida de vocación del suelo por usos indebidos y explotación excesiva de los

recursos que el humedal por sus relaciones ecológicas es capaz de brindar al ser humano. El servicio ecosistémico con mayor alteración es el de regulación del régimen hidrológico atendiendo a explotación excesiva, pérdida de vegetación riparia y compactación del suelo; además, actividades adyacentes a la zona de conservación del humedal (industriales, ganaderas y agrícolas) son causantes de contaminación del recurso hídrico disminuyendo su disponibilidad y calidad. Con base en esto, se proponen las siguientes estrategias de conservación: restauración de la cobertura vegetal a través de especies nativas y funcionales y reconstrucción morfológica del cuerpo del humedal.

Para llegar a definir la alteración del uso del suelo sobre los servicios ecosistémicos del humedal Gualí y hallar las estrategias de conservación planteadas se hizo uso de fotografías aéreas obtenidas del banco de imágenes del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y del software Google Earth Pro con las cuales se llevó a cabo un análisis de 5 periodos de estudio comprendiendo 56 años en total, con intervalos promedio de 15 años entre ellos; así, el primer año del análisis es 1963, seguido de 1977, 1993, 2007 y 2019.

En cada año de estudio se realizó una delimitación con el área de conservación del humedal en el municipio de Funza (obtenida del estudio del Distrito de Manejo Integrado del humedal Gualí - Tres Esquinas), se identificaron las diferentes coberturas del suelo y se compararon en intervalos de tiempo mediante estadística (prueba de Wilcoxon) para evaluar la significancia de la variación de las coberturas entre periodos; así mismo, la vectorización realizada mediante el software Arc 10.7 resultó en mapas en que se visualiza gráficamente la espacialidad con que las coberturas se desarrollaron en cada uno de los 5 años estudiados. El uso del suelo se interpretó de acuerdo a los tipos de coberturas hallados en la ronda del humedal y los procesos económicos que se desarrollan en casco urbano y área rural del municipio.

Se identificó que el humedal Gualí Tres Esquinas ofrece 14 servicios ecosistémicos, lo que se concluye que la oferta es menor a la esperada para un ecosistema humedal. Sin embargo, el humedal Gualí Tres Esquinas ofrece los principales servicios que caracteriza a este tipo de humedales, que son control de la erosión, abastecimiento de agua, y provisión de hábitat para la biodiversidad. El servicio ecosistémico más importante que ofrece el humedal es la regulación y amortiguamiento de las inundaciones (régimen hidrológico), es el servicio que se relaciona a la cobertura de agua, y es precisamente la cobertura que más se ha venido perdiendo a través de los años; al ser un humedal de la sabana de Bogotá, pertenece al sistema de regulación hídrica del río Bogotá, lo que implica que la capacidad para la regulación de caudales para mitigar inundaciones se verá afectado.

De acuerdo con el análisis estadístico se establece que, en los periodos analizados no hay una diferencia significativa en la cobertura del suelo, por lo cual se concluye que el cambio de cobertura del suelo no tiene efecto directo sobre la prestación de los servicios ecosistémicos del humedal, sin embargo, los usos que se le da al suelo si tienen un efecto sobre la oferta de los servicios ecosistémicos, principalmente los que pertenecen a la cobertura de territorios agrícolas (cultivos, invernaderos, pastos limpios y mixtos pastos, árboles, cultivos).

A nivel general, los servicios ecosistémicos más afectados por el uso del suelo (agricultura y ganadería), son los regímenes hidrológicos y la biodiversidad, provocando la fragmentación del humedal y la desaparición de la cobertura vegetal nativa y funcional. Por consiguiente, se sugiere que dentro del área de conservación del humedal Gualí Tres Esquinas se incorpore la reconstrucción morfológica del cuerpo de agua, que permita recuperar su conectividad, especialmente en la zona norte correspondiente al humedal Gualí, las cuales están sometidas a la expansión de la frontera agrícola representada en las coberturas mixtos pastos, árboles y cultivos. Es indispensable que, en estas estrategias de mitigación se involucre a los actores principales, participen en el desarrollo de la recuperación del espejo de agua y su protección, para evitar la degradación del ecosistema y la afectación a otros servicios como la provisión de hábitat para la biodiversidad.

## 9. RECOMENDACIONES

Diseñar un sistema de recolección de residuos sólidos en la zona de conservación del humedal a partir de la caracterización de los residuos, identificación de puntos críticos, disposición de contenedores selectivos y generación de valor económico de ser posible; lo anterior, teniendo en cuenta que la descomposición de residuos orgánicos conlleva a la proliferación de insectos transmisores de enfermedades, reduce el hábitat de especies acuáticas, resulta en procesos de eutrofización que reducen la disponibilidad de agua para consumo y altera la calidad paisajística del humedal. Los residuos sólidos inorgánicos son responsables de la variación en la alimentación de las especies faunísticas que puede resultar en mutaciones, mutilaciones y la muerte; así mismo, alteran la calidad del suelo por la descomposición de los agentes que compongan los residuos, la capacidad de retención de agua y, en épocas de menos lluvias, pueden ser responsables de incendios forestales.

Se recomienda incluir un marco legal basado en políticas ambientales que permitan poseer control y regulación de concesiones de agua en el humedal con el fin de administrar de manera eficiente el recurso hídrico y evitar escasez por uso indebido.

Integrar en el Plan de Manejo Ambiental de las empresas que aportan agentes contaminantes al humedal, programas de reducción de vertimientos, emisiones y residuos sólidos que puedan alterar la calidad y cantidad en la prestación de servicios ambientales.

Se recomienda hacer un análisis completo de la calidad del agua y el suelo, para la generación de estrategias de manejo de vertimientos, y manejo del suelo y la erosión para la recuperación del potencial ecológico del humedal.

Realizar modelos de contaminación que permitan inventariar y medir el impacto de las acciones y usos del suelo que afectan la calidad ambiental del humedal, con el fin de trazar metas reales de descontaminación y detoxificación del ecosistema.

Instruir en sistemas de producción más limpia a ganaderos, agricultores y campesinos vecinos del humedal para así, reducir la cantidad de nutrientes en exceso presentes en el humedal causantes de procesos de eutrofización.

Para hacer un análisis del efecto del cambio y uso del suelo cuantitativo es necesario conocer exactamente los servicios ecosistémicos que están directamente relacionados con las coberturas del suelo, e identificar cómo a partir de la cantidad de hectáreas se disminuye o se aumenta la oferta.

Desde la educación ambiental, dar a conocer los beneficios (servicios ambientales) que presta este tipo de ecosistemas, generando conciencia colectiva que se traduzca en factor de mejora recíproca entre ambiente y sociedad.

## REFERENCIAS.

- Agudelo, C. A. R., Delgado, J., Andrade, G., & Guzmán, A. (2015). Interacciones socioecológicas que perpetúan la degradación de la laguna de Fúquene, Andes orientales de Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, 19(37), 49-66.
- Andrade G. I., M. E. Chaves, G. Corzo y C. Tapia (eds.). 2018. Transiciones socioecológicas hacia la sostenibilidad. Gestión de la biodiversidad en los procesos de cambio en el territorio continental colombiano. Primera aproximación. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 220 p.
- Alcaldía Mayor de Bogotá, Departamento Administrativo del Medio Ambiente, DAMA (2006). Política de humedales del distrito capital. Recuperado el 10 de Julio de 2020 de [http://ambientebogota.gov.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=b3186a1c-c2a6-4cae-8e85-3eaecfee4fb7&groupId=55886](http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=b3186a1c-c2a6-4cae-8e85-3eaecfee4fb7&groupId=55886)
- Alcaldía municipal de Funza Cundinamarca (2018). Nuestro municipio. Hidrografía. Recuperado el 15 de mayo de 2021 de <http://www.funza-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Arango, M. A. H., Lenis, M. V. S., & Ramírez, N. J. A. (2008). Análisis sobre la aplicabilidad de las herramientas de gestión ambiental para el manejo de los humedales naturales interiores de Colombia. *Gestión y ambiente*, 11(2).
- Assessment, M. E. (2005). *Ecosystems and human well-being: wetlands and water*.
- Calderón Sáenz, F. (2009). El Humedal Gualí-Tres Esquinas y su potencial Ecológico, Turístico y Productivo.
- Chaparro Rodríguez, A. (2007). Valoración cualitativa del humedal de torca por contaminación ambiental de residuos sólidos.
- Convención sobre los humedales (20 de diciembre de 2019) Colombia designa dos nuevos humedales de importancia internacional. <https://www.ramsar.org/es/nuevas/colombia-designa-dos-nuevos-humedales-de-importancia-internacional>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2011). Humedales del territorio CAR. Recuperado el 26 de abril de 2021 de <http://www.car.gov.co/uploads/files/5adf57a6d882c.pdf>

Coy Tello, H. S., & Gómez Suárez, Y. P. (2019). Matriz De Aspectos E Impactos Ambientales En Las Unidades Agro Productivas De La Zona Usaba-Julio Cesar, Municipio De Sibaté, Cundinamarca, En El Segundo Semestre Del Año 2016.

Daily GC (Ed.). Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington, DC: Island Press, 1997. 392.

DAILY, G., ALEXANDER, S., EHRLICH, P., GOULDER, L., LUBCHENCO, J., MATSON, P., MOONEY, H., POSTEL, S., SHNEIDER, S., TILMAN, D. Y WOODWELL, G. 1997. Ecosystems services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology*, 2: 1-16. EEM. 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Washington D.C: Island Press. 155 pp.

De Groot, R., Stuip, M., Finlayson, M., & Davidson, N. (2007). Valoración de humedales: lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales. Cuaderno Técnico CBD.

Fernández Saavedra, M. A., & Aristizábal Delgado, J. N. Formulación de estrategias de conservación del humedal Gualí Tres Esquinas.

Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3), 643-653.

Flórez Buriticá, A. M., & Holguín, Y. (2018). Formulación del plan de manejo ambiental para el cultivo flores y follajes la primavera ubicado en el municipio del Retiro–Antioquía.

GEF-UNEP. 1999. Technical advisory panel of the Global Environment Facility-United Nations Environment Program. Report of Biodiversity Conservation in Managed Forest, México.

Henao, J. (2004). Plan de manejo y propuesta de delimitación de un área natural protegida en el humedal Gualí-tres esquinas. (). Retrieved from <http://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/34121/00841.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1: 100.000.

IDEAM - UNAL, Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia, Bogotá, D.C., 2018.

Loreto, D., Esperón-Rodríguez, M., & Barradas, V. L. (2017). La importancia climático-ambiental, el estatus y la perspectiva socioeconómica de los agroecosistemas de cafetales cultivados en la región montañosa central de Veracruz, México. *Investigaciones geográficas*, (92), 0-0.

Martínez, L., & Ruiz Orjuela, L. M. (2016). Análisis de la pérdida en la cobertura vegetal a partir de un estudio multitemporal 2007-2013 parque nacional natural alto fragua indi wasi.

Millennium Ecosystem Assessment - MEA (2003). *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. Washington, DC: Island Press, 2003. 49-70

Millennium Ecosystem Assessment – MEA (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Washington, DC: World Resources Institute, 2005.82.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (s.f) Tesauro ambiental de Colombia. Recuperado el 05 de agosto de 2020 de [http://buritaca.invemar.org.co/siam/tesauro\\_ambiental/naveg.htm](http://buritaca.invemar.org.co/siam/tesauro_ambiental/naveg.htm).

Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2000). *Wetlands* John Wiley & sons. Inc., New York, New York.

Molina Vergel, D. (2015). Análisis sobre valoración económica de los servicios ambientales del humedal el Gualí-tres esquinas del municipio de Mosquera, Cundinamarca, 9(2), 68–70.

- Moreno, V., García, J. F., & Villalba, J. C. (2000). Descripción general de los humedales de Bogotá, D.C. Sociedad Geográfica de Colombia: Academia de Ciencias Geográficas. Recuperado el 08 de mayo de 2021 de <http://www.sogeocol.edu.co/documentos/humed.pdf>.
- Munguía, V. S. (2015) San Quintín: la gestión del agua bajo un modelo agotado e insostenible. El agua en la región agrícola Camalú-El Rosario, Baja California, 117.
- Murcia, C., & Guariguata, M. R. (2014). La restauración ecológica en Colombia: Tendencias, necesidades y oportunidades (Vol. 107). Cifor.
- Olaya Villamil, L. M., & Suárez Camargo, G. S. (2018). Aplicación de un modelo predictivo para el análisis del impacto generado por el cambio de cobertura urbana en el municipio de Mosquera, Cundinamarca.
- Ramos Convers, S. Y., & López Cruz, W. A. (2015). Caracterización de las empresas ubicadas en el sector rural del municipio de Funza.
- Ramsar, C. (1971). Convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas. Ramsar, 2, 1971.
- Ramsar, C. (2008). Estrategia regional de conservación y uso sostenible de los humedales altoandinos. Quito, Ecuador: Gobiernos De Ecuador Y Chile, CONDESAN, TNC-Chile
- Ramsar. (2009). Mitigación del cambio climático y adaptación a él. Suiza: Ramsar. Recuperado el 15 de febrero de 2021, de [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/services\\_10\\_s.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/services_10_s.pdf).
- Ramsar (2010). Servicios de los ecosistemas de humedales. Humedales, servicios de los ecosistemas.
- Ramsar (2011) Bosques para agua y humedales. Publicado el 2011, recuperado el 28 de Julio de 2020 de

[https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/dmh2011-folleto\\_sp.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/dmh2011-folleto_sp.pdf).

Ramsar (2014). Humedales y agricultura: asociados en pro del crecimiento. Día mundial de los humedales 2014.

Roa Martinez, M. A., & Ascencio Tovar, M. D. Determinación de los principales efectos ambientales en humedales debido a la variación climática en la ciudad de Bogotá DC como un análisis del cambio climático (Bachelor's thesis, Universidad Distrital Francisco José de Caldas).

Rojas, M. P. V., & Casas, A. F. (2015). Vulnerabilidad de humedales altoandinos ante procesos de cambio: tendencias del análisis. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 14(26), 29-42.

Rondón Naquiche, E. D. C. (2020). Impactos ambientales que genera el proceso de urbanización en el humedal de villa maría dentro del marco de la estrategia nacional de Humedales–2019.

Shine, C., & De Klemm, C. (1999). Wetlands, water, and the law: Using law to advance wetland conservation and wise use IUCN.

Solís, N. M., & Muñoz, G. C. (2021). La frontera agrícola en las áreas aledañas al Humedal Nacional Terraba Sierpe y sus implicaciones en la sostenibilidad de los sistemas productivos. e-Agronegocios, 7(1), 56-77.

Torres, J. P. V. (2017). ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LAS COBERTURAS Y USOS DEL SUELO DE LA RESERVA FORESTAL PROTECTORA-PRODUCTORA “CASABLANCA” EN MADRID CUNDINAMARCA ENTRE LOS AÑOS 1961 Y 2015: APORTES PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPAL.

U.S. Environmental Protection Agency. Ecological benefits assessment strategic plan. Washington. DC: SAB Review Draft, 2004.

Valencia Dávila, N. (2003). Análisis Multitemporal Del Humedal Del Municipio De Funza.

Vasco Zamudio, S. P., & Sánchez, L. (2017). Análisis De La Gestión Ambiental Del Humedal Gualí Tres Esquinas, Vereda El Hato (Funza–Cundinamarca).

Vidal, L. F., Delgado, J., & Andrade, G. I. (2013). Factores de la vulnerabilidad de los humedales altoandinos de Colombia al cambio climático global. Cuadernos De Geografía: Revista Colombiana De Geografía, 22(2), 69-85.