

---

# IMPACTO MEDIO AMBIENTAL POR EXPANSIÓN AGRÍCOLA Y GANADERÍA EXTENSIVA EN LA LAGUNA DE FÚQUENE

Jorge Enrique Prieto Suaza, [jeprietos@unadvirtual.edu.co](mailto:jeprietos@unadvirtual.edu.co)

Maira Alejandra Sánchez Bustos, [masanchezbu@unadvirtual.edu.co](mailto:masanchezbu@unadvirtual.edu.co)

Docente asesor: Luis Alejandro Ospina Sánchez, [luisa.ospina@unad.edu.co](mailto:luisa.ospina@unad.edu.co)

## RESUMEN

La Laguna de Fúquene, situada entre los departamentos de Cundinamarca y Boyacá al este de los andes colombianos, ha experimentado un deterioro ambiental significativo debido a distintas formas de explotación y aprovechamiento de los recursos naturales existentes, entre los que se destaca la expansión agrícola y ganadera extensiva desarrollada en el área de su cuenca hidrográfica.

En este trabajo se utilizan Sistemas de Información Geográfica (SIG) para analizar el impacto ambiental provocado por la expansión agrícola y la ganadería extensiva, identificar las áreas afectadas y a su vez proponer estrategias de mitigación para la protección, recuperación y conservación de la cuenca de la laguna Fúquene.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se emplearon para integrar y analizar diversos tipos de datos geoespaciales, incluyendo imágenes satelitales, mapas topográficos, censos agrícolas y datos climáticos. Estos datos se pre-procesaron para la integración en la plataforma SIG, permitiendo la evaluación de los problemas ambientales presentes en la laguna.

En consecuencia de la expansión agrícola y la ganadería extensiva en la cuenca de la laguna Fúquene, se identificaron las siguientes afectaciones ambientales: Contaminación por nutrientes, agroquímicos, sedimentación y desecación de la laguna.

Contaminación por nutrientes y agroquímicos ha impactado negativamente a la fauna acuática además de representar un riesgo para la salud humana.

Sedimentación, exacerbada por prácticas agrícolas inadecuadas como la deforestación y el cultivo en pendientes, dando como resultado reducción en la profundidad de la laguna, afectando su capacidad de autodepuración.

Finalmente, la desecación de la laguna, ha alterado su régimen hidrológico y disminuido su capacidad para almacenar agua.

El análisis y modelación de datos espaciales mostraron las áreas afectadas, permitiendo la evaluación detallada de las zonas críticas.

Además, la utilización de modelos matemáticos permitieron la simulación de escenarios futuros y la evaluación de la efectividad de diversas estrategias de mitigación detalladas a continuación:

Prácticas agrícolas sostenibles, que incluyen el uso de abonos orgánicos, implementación de sistemas agroforestales, rotación de cultivos, manejo adecuado de residuos ganaderos, restauración de la vegetación ribereña, uso de biofertilizantes, gestión integral de plagas y enfermedades y por último desarrollar programas de educación y extensión; estas alternativas se mostraron como medidas efectivas en la mitigación de los impactos negativos.

El estudio concluye que la implementación de estas medidas a demás de el establecimiento de un sistema de monitoreo continuo utilizando Sistemas de Información Geográfico (SIG) son las principales herramientas para evaluar la efectividad, detectar otros problemas ambientales de manera temprana para tomar acciones concretas en el cuidado protección y recuperación del entorno.

En resumen, los Sistemas de Información Geográfico (SIG) han demostrado ser una herramienta útil para la gestión ambiental y la planificación territorial, ya que permiten comprender mejor la dinámica del ecosistema, evaluar el impacto de las actividades humanas y diseñar estrategias de conservación efectivas, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones informadas y la implementación de estrategias de conservación en la Laguna de Fúquene.

## INTRODUCCIÓN

Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas esenciales en la gestión y planificación del territorio, especialmente en contextos agroambientales. Los SIG permiten la integración, análisis y visualización de datos espaciales, la creciente complejidad de los sistemas socio ecológicos, sumada a la necesidad de tomar decisiones más informadas y sostenibles, ha impulsado la adopción de estas tecnologías en diversos sectores, facilitando una comprensión profunda de los procesos ecológicos y los impactos de las actividades humanas en el medio ambiente.

Los sistemas de información geográfica (SIG) permiten integrar, analizar y visualizar grandes

volúmenes de datos georreferenciados, como mapas topográficos, imágenes satelitales, datos climáticos y socioeconómicos.

Esta capacidad de integrar información heterogénea proporciona una comprensión profunda de las relaciones entre los componentes naturales y sociales del territorio, facilitando la identificación de patrones espaciales, la evaluación de impactos y la generación de planes de intervención y mitigación en escenarios futuros

Este trabajo se enfoca en la aplicación mediante los Sistemas de información geográfica (SIG) para evaluar y mitigar los impactos ambientales en la Laguna Fúquene, un cuerpo de agua dulce situado entre los departamentos de Cundinamarca y Boyacá en Colombia

La Laguna de Fúquene ha experimentado un deterioro ambiental significativo en la última década, a causa de distintas labores e intervenciones humanas principalmente la expansión agrícola y ganadería extensiva. Estas actividades han generado una serie de impactos negativos, incluyendo la contaminación por nutrientes y agroquímicos, sedimentación y la desecación de la laguna.

Las distintas actividades humanas especialmente la agricultura y la ganadería han llevado al uso excesivo de fertilizantes y pesticidas, cuyos residuos terminan en las distintas fuentes de agua que abastecen la laguna, afectando la calidad del agua generando deterioro y pérdida de la biodiversidad.

La deforestación, el cultivo en pendientes han generado cambios topográficos que aumentaron la erosión del suelo, provocando una mayor sedimentación reduciendo la profundidad y capacidad de autodepuración de la laguna.

Finalmente, la variabilidad climática y los procesos ecológicos resultado de la expansión de

la frontera agrícola y ganadera, provocó la desecación de la laguna, alterando su régimen hidrológico, disminuyendo su capacidad para almacenar agua.

Además de los impactos ambientales, la degradación de la Laguna de Fúquene tiene importantes consecuencias socioeconómicas por la disminución de la calidad del agua que afecta la pesca, el turismo y la agricultura, lo que a su vez impacta los ingresos y la calidad de vida de las comunidades locales. Para abordar esta problemática de manera integral, es fundamental promover la participación ciudadana y fortalecer la gobernanza del recurso hídrico. A través de talleres participativos y la creación de plataformas de diálogo, se pueden identificar las necesidades y prioridades de las comunidades, y co-construir soluciones que sean socialmente aceptables y ambientalmente sostenibles.

El uso de Sistemas de información Geográfica (SIG) en este estudio es fundamental para abordar estas problemáticas de manera integral ya que permiten la recopilación y análisis de datos de diversas fuentes, como imágenes satelitales, mapas topográficos, censos agrícolas y datos climáticos estos datos se procesan y estandarizan para su integración en la plataforma QGIS, facilitando una evaluación precisa de los problemas ambientales presentes en la laguna.

Mediante técnicas de georreferenciación y análisis espacial, fue posible identificar y mapear las áreas más afectadas, cuantificar los impactos y desarrollar estrategias de mitigación basadas en modelos matemáticos y modelación de escenarios futuros proyectando el posible impacto positivo de diversas estrategias de manejo y conservación.

### **Objetivo General**

Aplicar los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para analizar el impacto ambiental de la expansión agrícola y ganadería extensiva en la Laguna de Fúquene, con el fin de identificar las áreas más afectadas y proponer estrategias de mitigación basadas en datos espaciales y modelos matemáticos.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar las problemáticas encontradas:  
Emplear técnicas de SIG para estudiar los cambios en la morfología de la laguna debido a la contaminación, sedimentación y desecación, determinando las zonas con mayor erosión y acumulación de sedimentos.
  - Desarrollar Estrategias de Conservación:  
Proponer y simular mediante SIG prácticas agrícolas y ganaderas sostenibles, restauración de la vegetación ribereña y otras medidas de conservación, evaluando su efectividad en la reducción de los impactos ambientales identificados en la Laguna de Fúquene.
-

**Identificación de la problemática ambiental o caso de estudio.**

Área de Estudio: Laguna de Fúquene, situada entre los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, Colombia; Impacto de la expansión agrícola y ganadería extensiva en el cuerpo de agua de la Laguna Fúquene.

Un cuerpo de agua dulce situado en la localidad de Fúquene, entre los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, al este de los Andes colombianos, a una altitud de 2.540 metros, y a una distancia de unos 80 km de la ciudad de Bogotá Colombia, al este de los andes colombianos abastecida por el río Ubaté y principal fuente de abastecimiento de l río Suarez, con una superficie de más de 25 kilómetros cuadrados, la Laguna de Fúquene es el hogar de diversas especies de aves y peces. Además, es un lugar de gran importancia cultural y religiosa para los habitantes de la región sus aguas son utilizadas en las labores agrícolas y ganaderas y también es la principal fuente de abastecimiento para acueductos de municipios cercanos, en la última década se a visto afectada debido a diversas actividades humanas, entre las que destacan la agricultura y la ganadería extensiva; Actividades que han generado una serie de impactos negativos en el área de amortización o área de conservación de la laguna poniendo en peligro su equilibrio ecológico y los servicios ambientales que presta.

**Principales impactos:**

· **Contaminación por nutrientes:** El uso excesivo de fertilizantes en la agricultura y los desechos de los animales en la ganadería han provocado un aumento en la concentración de nutrientes como nitrógeno y fósforo en la laguna. Este fenómeno, conocido como eutrofización, estimula el crecimiento de algas, lo que reduce los niveles de oxígeno disuelto y afecta a otras formas de vida acuática.

· **Sedimentación:** La erosión del suelo causada por prácticas agrícolas inadecuadas, como la deforestación y el cultivo en pendientes, ha generado un aumento en la sedimentación de la laguna. Los sedimentos reducen la profundidad del cuerpo de agua, disminuyen la capacidad de autodepuración y afectan la calidad del agua.

· **Desecación:** La expansión de la frontera agrícola y ganadera se ha reducido la superficie de la laguna, lo que ha alterado su régimen hidrológico y ha disminuido su capacidad para almacenar agua

**Medidas para mitigar los impactos:**

Para revertir la situación de la Laguna de Fúquene, es necesario implementar prácticas agrícolas sostenibles como:

· Sistemas agroforestales, combinar árboles, cultivos y/o animales en el mismo espacio, mejorando la biodiversidad, la calidad del suelo y la regulación hídrica. promueve la rotación y diversificación de cultivos, como alternativa de recuperación y conservación de suelos degradados, ya que actúan como barreras vivas para filtrar sedimentos y nutrientes antes de que lleguen a la laguna.

Medidas para mitigar los impactos:

Para revertir la situación de la Laguna de Fúquene, es necesario implementar prácticas agrícolas sostenibles como:

- . Sistemas agroforestales, combinar árboles, cultivos y/o animales en el mismo espacio, mejorando la biodiversidad, la calidad del suelo y la regulación hídrica. promueve la rotación y diversificación de cultivos, como alternativa de recuperación y conservación de suelos degradados, ya que actúan como barreras vivas para filtrar sedimentos y nutrientes antes de que lleguen a la laguna.
- . Agricultura de Conservación: Minimiza la perturbación del suelo, manteniendo una cobertura vegetal permanente, reduciendo la erosión y la pérdida de materia orgánica.
- . Biofertilizantes: Utilización de microorganismos benéficos para fijar nitrógeno atmosférico y mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, reducen la necesidad de fertilizantes químicos.
- . Manejo adecuado de los residuos ganaderos: Construir sistemas de almacenamiento y tratamiento de los desechos animales evitando la contaminación de las fuentes hídricas con nutrientes y patógenos.
- . Restauración de la vegetación ribereña: La vegetación ribereña ayuda a estabilizar los suelos, reducir la erosión, mejorar la calidad del agua y proporciona hábitat para la fauna.
- . Control de la sedimentación: Implementar medidas de conservación de suelos en las cuencas hidrográficas.

- . Educación y Extensión: Capacitar a los agricultores en prácticas sostenibles y brindar asistencia técnica para la implementación de nuevas tecnologías, promover la adopción de tecnologías limpias y eficientes en el uso del agua.

### **Consecuencias**

- . Pérdida de biodiversidad: Se ha registrado una reducción en el número y variedad de especies de peces, aves acuáticas y otras formas de vida lo que provoca desequilibrio ecológico la pérdida de especies altera las relaciones entre los organismos y afecta la estabilidad del ecosistema, también reduce la disponibilidad de servicios ecosistémicos esenciales como la purificación del agua, la regulación del clima y la polinización.
- . Deterioro de la calidad del agua: La eutrofización, la sedimentación y la contaminación por agroquímicos han reducido la calidad del agua, poniendo en riesgo también la salud humana y otras actividades.
- . Impactos socioeconómicos: La degradación de la laguna ha afectado a las comunidades locales que dependen de esta fuente de agua para su subsistencia.

## Metodología

### Marco Metodológico

Para abordar los objetivos planteados en el análisis del impacto ambiental de la expansión agrícola y ganadera en la Laguna de Fúquene, se propone el siguiente marco metodológico:

#### 1. Recolección de Datos

##### a. Datos Espaciales:

- Adquirir imágenes satelitales de alta resolución y fotografías aéreas de la Laguna de Fúquene y sus alrededores.
- Obtener mapas topográficos, hidrológicos y de uso del suelo de la zona de estudio.
- Recolectar datos históricos sobre cambios en la extensión de la laguna, sedimentación y desecación.

##### b. Datos Ambientales y

##### Socioeconómicos:

- Recopilar información sobre la calidad del agua (niveles de nutrientes, sedimentos, contaminantes).
- Obtener datos meteorológicos (precipitaciones, temperaturas) y registros hidrológicos (caudales, niveles de agua).
- Recoger información socioeconómica sobre las comunidades locales, prácticas agrícolas y ganaderas predominantes.

#### • 2. Análisis de Sedimentación y Desecación

##### • a. Análisis de Imágenes Satelitales:

- Utilizar técnicas de teledetección para identificar y cuantificar los cambios en la extensión de la laguna a lo largo del tiempo.
- Aplicar análisis de series temporales para detectar tendencias y patrones en la sedimentación y desecación.

#### b. Modelado Digital del Terreno (DTM):

- Generar un modelo digital del terreno de la cuenca de la laguna para identificar las áreas más susceptibles a la erosión y acumulación de sedimentos.
- Emplear técnicas de análisis espacial para mapear las zonas de mayor impacto y evaluar la morfología de la laguna.

#### 3. Desarrollo de Estrategias de Conservación

##### a. Simulación de Prácticas Sostenibles:

- Utilizar modelos SIG para simular diferentes escenarios de prácticas agrícolas y ganaderas sostenibles, como la rotación de cultivos y el uso de abonos orgánicos.
- Evaluar la efectividad de estas prácticas en la reducción de la sedimentación y la eutrofización.

##### b. Restauración de Vegetación Ribereña:

- Identificar áreas prioritarias para la restauración de la vegetación ribereña mediante análisis SIG.

Simular la implementación de estas medidas y su impacto en la reducción de la erosión y mejora de la calidad del agua.

#### 4. Implementación de Medidas de Mitigación

##### a. Control de la Sedimentación:

- Diseñar e implementar medidas de conservación de suelos en las cuencas hidrográficas, como terrazas, barreras vegetativas y coberturas permanentes.
- Monitorear y evaluar la efectividad de estas medidas en la reducción de la sedimentación.

**b. Manejo de Residuos Ganaderos:**

- Desarrollar sistemas de almacenamiento y tratamiento de desechos animales, incluyendo biodigestores y compostaje.
- Evaluar el impacto de estos sistemas en la reducción de la contaminación por nutrientes.

**5. Educación Ambiental y Participación Comunitaria****a. Programas de Concienciación:**

- Implementar campañas de educación ambiental para sensibilizar a la población local sobre la importancia de la conservación de la Laguna de Fúquene.
- Fomentar la participación comunitaria en la implementación y monitoreo de las medidas de conservación.

**b. Evaluación de Impacto Socioeconómico:**

- Realizar encuestas y entrevistas con las comunidades locales para evaluar el impacto socioeconómico de las estrategias propuestas.

**6. Monitoreo y Evaluación****a. Sistema de Monitoreo Continuo:**

- Establecer un sistema de monitoreo continuo utilizando sensores remotos y estaciones de campo para recolectar datos en tiempo real sobre la calidad del agua, sedimentación y otros indicadores ambientales.
- Analizar periódicamente los datos recolectados para evaluar la efectividad de las estrategias implementadas y realizar ajustes necesarios.

**b. Reportes y Publicaciones:**

- Elaborar reportes periódicos sobre el estado de la laguna y los avances en la implementación de las medidas de mitigación.

**b. Reportes y Publicaciones:**

- Elaborar reportes periódicos sobre el estado de la laguna y los avances en la implementación de las medidas de mitigación.
- Publicar los resultados y buenas prácticas en revistas científicas y plataformas de acceso abierto para compartir el conocimiento generado.

La metodología propuesta para analizar el impacto ambiental de la expansión agrícola y ganadera en la Laguna de Fúquene es integral y multidisciplinaria, abarcando recolección de datos, análisis detallados y desarrollo de estrategias de conservación y mitigación. La primera fase se centra en la recolección exhaustiva de datos espaciales, ambientales y socioeconómicos, utilizando herramientas avanzadas como imágenes satelitales y datos históricos para establecer una base sólida de información.

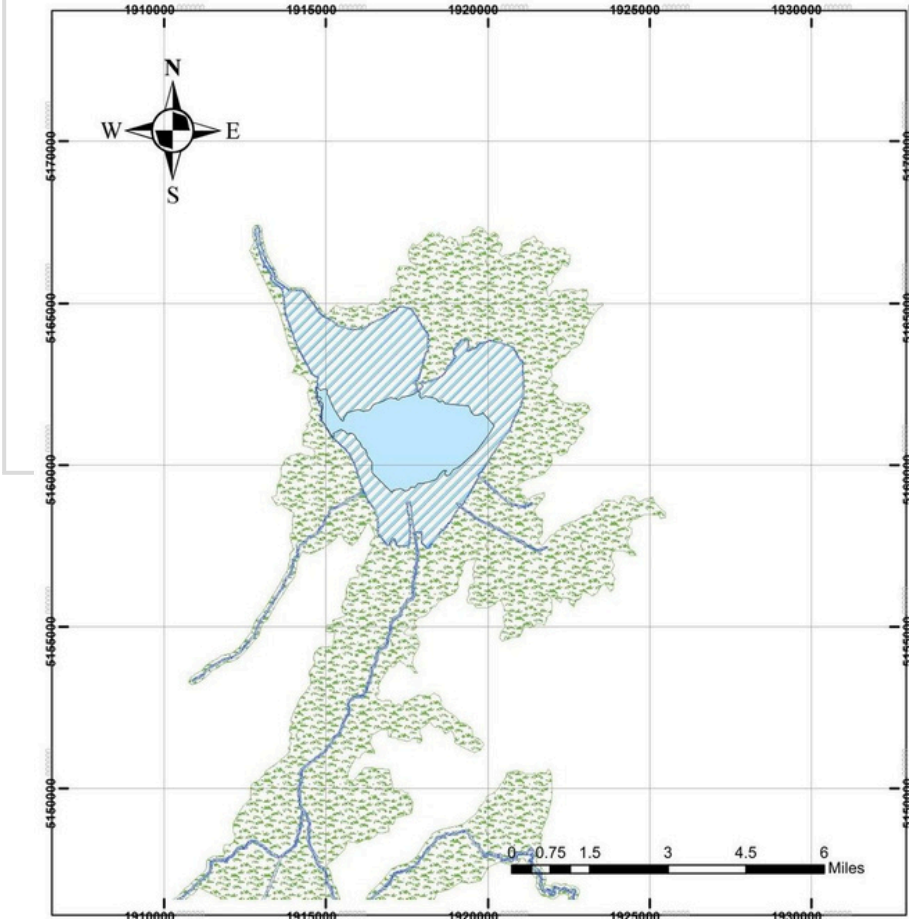
El análisis de sedimentación y desecación se realiza a través de técnicas de teledetección y modelado digital del terreno (DTM), lo que permite identificar cambios temporales y espaciales en la extensión de la laguna, así como las áreas más afectadas por la erosión y acumulación de sedimentos. Esta etapa es crucial para entender las dinámicas del ecosistema y los factores que contribuyen a su degradación.

El desarrollo de estrategias de conservación incluye la simulación de prácticas agrícolas sostenibles y la restauración de la vegetación ribereña. Mediante el uso de modelos SIG, se evalúa la efectividad de estas prácticas para mitigar la sedimentación y mejorar la calidad del agua. Finalmente, se proponen medidas concretas de mitigación, como el control de la sedimentación a través de técnicas de conservación de suelos.

ZONA DE ESTUDIO LAGUNA FÚQUENE

2014		
Área zona preservación	3514,7807	Hectáreas
Área cuerpo de agua presente	947	Hectáreas
<b>DIFERENCIA</b>	<b>2.568</b>	<b>Hectáreas</b>

Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
 Sistemas de información geográfica para el ordenamiento agroambiental del territorio  
 Impacto ambiental por expansión agrícola en la laguna de fuquene- Año 2014  
 Presenta:  
 Maira Alejandra Sanchez  
 Jorge Enríque Prieto  
 Revisa: Luis Alejandro Ospina Sanchez



**Legend**

- Agua
- DMI\_2014
- Nombre
- Zona Preservación
- Zona Restauración
- Zona Uso Sostenible

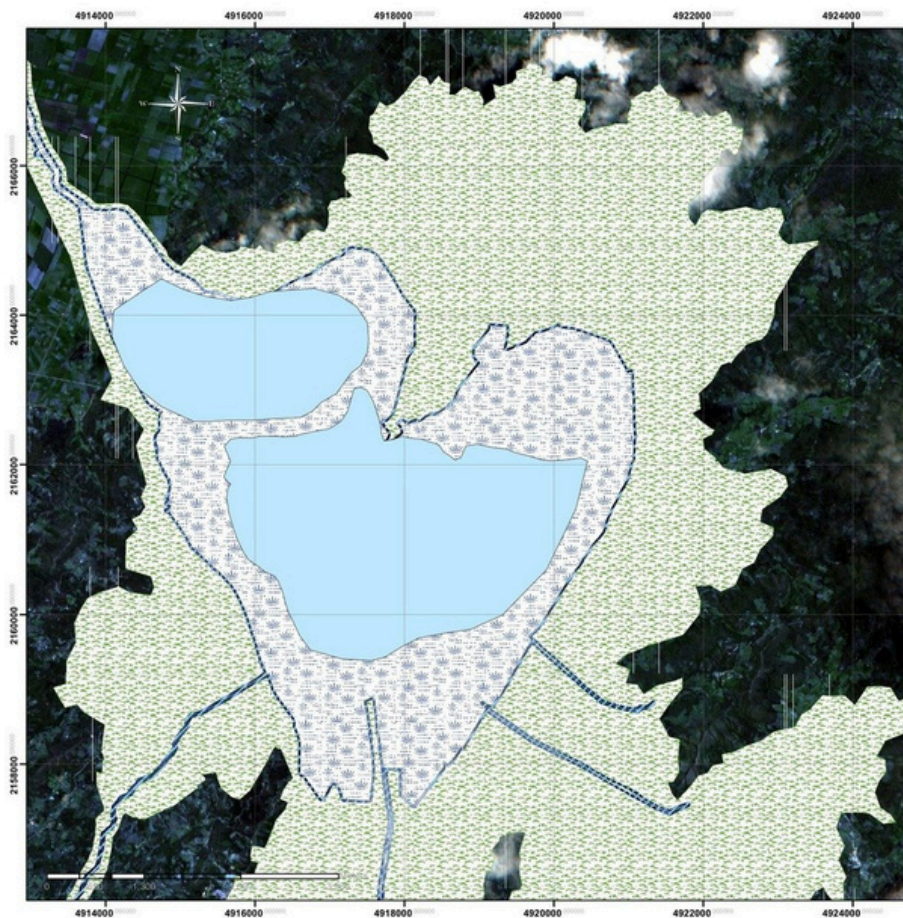
Área zona preservación	3514,7807	Hectareas
Área cuerpo de agua presente	947	Hectareas
<b>DIFERENCIA</b>	<b>2.568</b>	<b>Hectareas</b>



FUENTE: AUTORIA PROPIA

## ZONA DE ESTUDIO LAGUNA FÚQUENE

	2020
Área zona preservación	3514,7807 Hectáreas
Área cuerpo de agua presente	1076,353081 Hectáreas
<b>DIFERENCIA</b>	<b>2438,427619 Hectáreas</b>



Universidad Nacional Abierta  
y a Distancia

Sistemas de información  
geográfica para el ordenamiento  
agroambiental del territorio

Impacto ambiental por expansión  
agrícola en la laguna de fuquene- Año 2020

Presenta:  
Maira Alejandra Sanchez  
Jorge Enrique Prieto

Revisa: Luis Alejandro Ospina Sanchez

#### Convenciones

Cuerpo\_a

#### Nombre

Zona Preservación

Zona Restauración

Zona Uso Sostenible

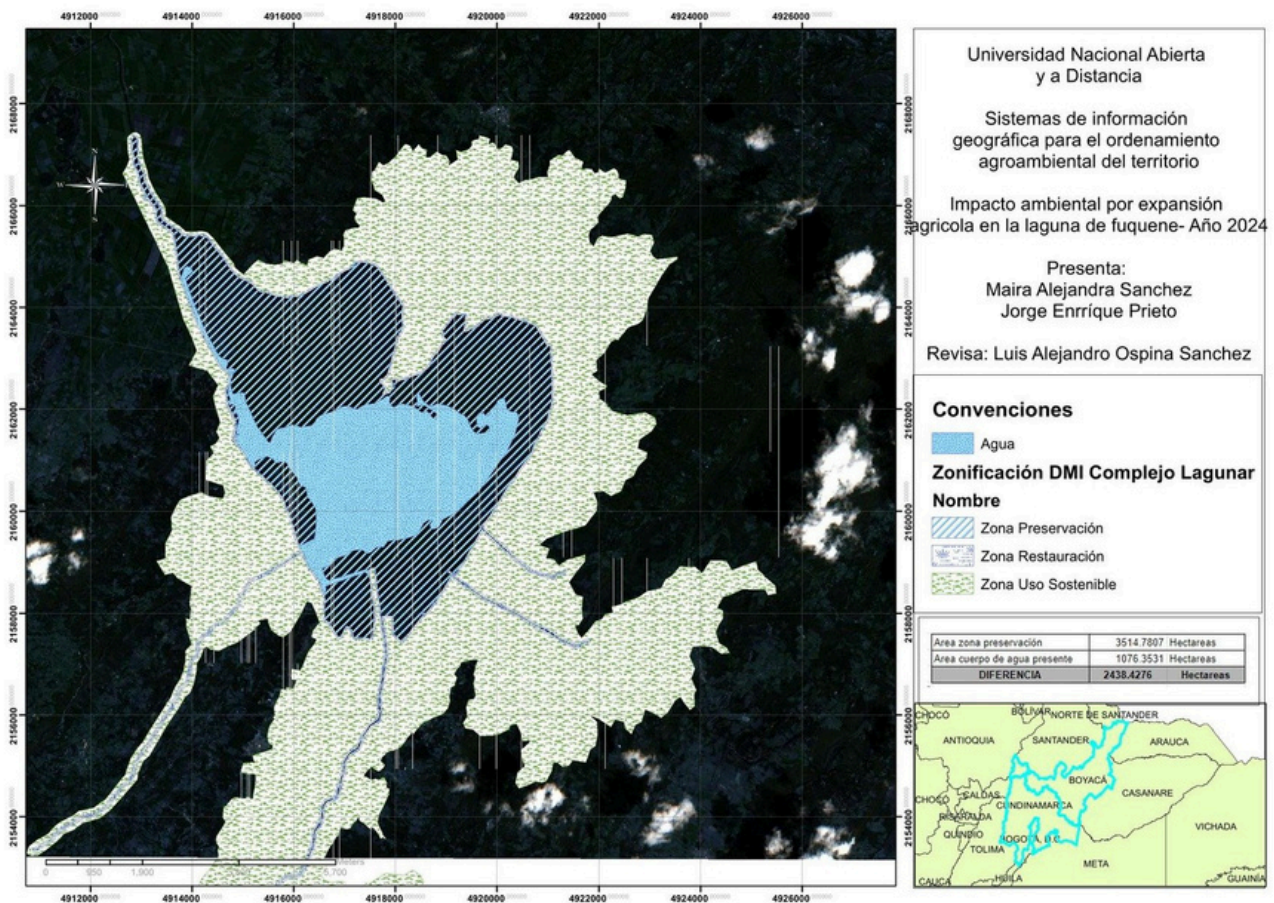
Área zona preservación	3514.7807 Hectareas
Área cuerpo de agua presente	1553.258752 Hectareas
<b>DIFERENCIA</b>	<b>1921.521948 Hectareas</b>



FUENTE: AUTORIA PROPIA

## ZONA DE ESTUDIO LAGUNA FÚQUENE

2024		
Área zona preservación	3514,7807	Hectáreas
Área cuerpo de agua presente	1593,258752	Hectáreas
<b>DIFERENCIA</b>	<b>1921,521948</b>	<b>Hectáreas</b>



FUENTE: AUTORIA PROPIA

2024	1593,258752
2020	1076,353081
<b>DIFERENCIA</b>	<b>516,9056706</b>

Lo que nos muestra que para el año 2024 actualmente se a recuperado 516.906 hectáreas de cuerpo de agua, esto puede deberse a las actividades que a venido desarrollando la CAR en pro de la recuperación y conservación de la laguna, esta actividad consiste en realizar ordenamiento del uso del suelo con los predios vecinos a la fuente hídrica, limitando perímetros en áreas dedicadas a la agricultura y ganadería, que permiten una recuperación natural del cuerpo de agua.

### IMÁGENES SATELITALES

Las imágenes satelitales son obtenidas con un satélite sentinel 2, a 10 metros de altura, lo que nos da una resolución bastante buena para la observación multitemporal de la laguna estas imágenes presentan un total de 8 bandas información tomada gracias al satélite **SENTINEL**

Para el correcto uso se realizo la combinación de esas bandas en el software QGIS, obteniendo como resultado una imagen con todas las bandas incorporadas, estos con el propósito de analizar fotogramétricamente el cambio en cada imagen año 2020

## Sentinel 2

Banda	Resolución	Longitud de onda central	Descripción
B1	60 m	443 nm	Ultra azul (Costa y Aerosol)
B2	10 m	490 nm	Azul
B3	10 m	560 nm	Verde
B4	10 m	665 nm	rojo
B5	20 m	705 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B6	20 m	740 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B7	20 m	783 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B8	10 m	842 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)

### Color natural

Esta combinación suele llamarse “color natural” pues involucra a las tres bandas visibles y se le asigna a cada una de ellas su verdadero color, resultando una combinación que se aproxima a los colores naturales de la escena. Podemos generarla utilizando la combinación de bandas 4,3,2 en Sentinel 2.

### Infrarrojo

Esta combinación de bandas tiene buena sensibilidad a la vegetación (la cual aparece representada en una tonalidad roja), debido a la alta reflectividad en el infrarrojo y la baja en el visible, y representa de forma clara caminos y masas de agua (azul- verde oscuro). Esto nos deja observar con claridad la invasión de vegetación que se presenta en el cuerpo de agua

### Falso color

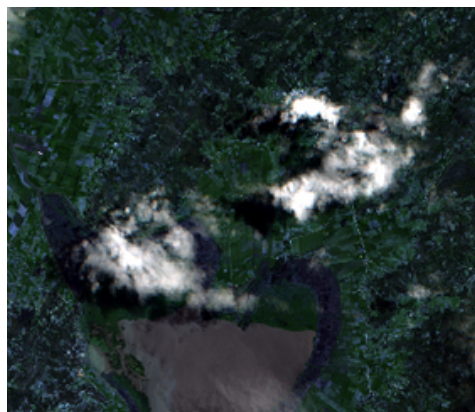
Las áreas de praderas o pastos se representan en tonos verdes claros. De verde oliva a verde brillante indica áreas forestales Este análisis puede realizarse con una combinación de bandas 12,11,4 en Sentinel

### FOTOS DE CAMPO TOMADAS CON DRONE SOBREVUELO EN LA LAGUNA FÚQUENE

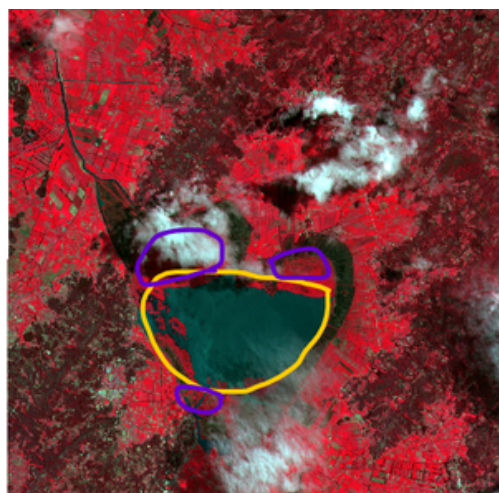
Estas imágenes se realizan para tomar puntos o coordenadas para delimitar la zona de estudio de la laguna Fúquene

LINK

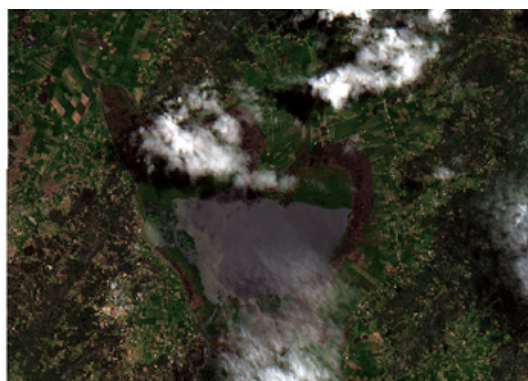
<https://youtu.be/4m6coxTB-9I>



Fuente: <https://oaica.car.gov.co/vercaso.php?id=241>



Fuente: Elaboracion Propia 2024



Fuente: <https://oaica.car.gov.co/vercaso.php?id=241>

**Conclusiones****Impacto Ambiental Significativo:**

La expansión agrícola y ganadera en la región de la Laguna de Fúquene ha tenido un impacto ambiental considerable. Los principales problemas identificados incluyen la contaminación por nutrientes (nitrógeno y fósforo), la sedimentación, la contaminación por pesticidas y la desecación de la laguna.

**Utilidad de los SIG:**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han demostrado ser herramientas eficaces para el análisis y la gestión de datos geoespaciales, permitiendo una visualización clara y precisa de los problemas ambientales. Los SIG facilitaron la identificación de las áreas más afectadas y la cuantificación de los impactos ambientales.

**Identificación de Áreas Críticas:**

Se identificaron las zonas más afectadas por la contaminación, la sedimentación y la desecación. Las áreas cercanas a actividades agrícolas intensivas y ganaderas presentan las mayores concentraciones de contaminantes y los mayores problemas de erosión.

**Modelación de Escenarios:**

La modelación de diferentes escenarios permitió evaluar el impacto potencial de diversas estrategias de mitigación. Las prácticas agrícolas sostenibles, el manejo adecuado de residuos ganaderos y la restauración de la vegetación ribereña se mostraron como medidas efectivas para reducir los impactos negativos en la laguna.

**Validación y Fiabilidad:**

Los resultados obtenidos fueron validados con datos de campo, confirmando la precisión y validez de los análisis realizados. Los modelos desarrollados proporcionan una base sólida para la toma de decisiones informadas.

**Recomendaciones****Implementación de Prácticas Agrícolas Sostenibles:**

**Acción:** Promover el uso de fertilizantes orgánicos, la rotación de cultivos y la conservación de suelos.

**Impacto Esperado:** Reducción de la contaminación por nutrientes y mejora de la calidad del agua.

**Manejo Adecuado de Residuos Ganaderos:**

**Acción:** Establecer sistemas de almacenamiento y tratamiento de desechos animales promoviendo esta actividad como fuentes de ingresos por comercialización de abono orgánico.

**Impacto Esperado:** Prevención de la contaminación del agua y reducción de los niveles de nitrógeno y fósforo en la laguna.

**Restauración de la Vegetación Ribereña:**

**Acción:** Implementar programas de reforestación y conservación de la vegetación ribereña.

**Impacto Esperado:** Estabilización de los suelos, reducción de la erosión y mejora de la calidad del agua.

**Control de la Sedimentación:**

**Acción:** Aplicar técnicas de conservación de suelos, como terrazas de cultivo y barreras vegetativas.

**Impacto Esperado:** Reducción de la entrada de sedimentos a la laguna y mejora de su capacidad de autodepuración.

**Educación y Concienciación Ambiental:**

**Acción:** Desarrollar programas educativos para concienciar a la población local.

**Impacto Esperado:** Aumento del compromiso comunitario con la conservación

**Monitoreo Continuo:**

**Acción:** Establecer un sistema de monitoreo continuo de la calidad del agua y las condiciones ambientales.

**Impacto Esperado:** Detección temprana de problemas y medidas implementadas.

**Bibliografía**

Ariza, M. M. (2018). El uso de los SIG en la gestión ambiental: Una revisión crítica. *Revista de Geografía y Ordenación del Territorio*, 12(2), 45-58. doi:10.5565/rev/geografia.2018.12.45

Barrios, J. C., & Gómez, P. L. (2017). Impacto de la agricultura intensiva en cuerpos de agua: Caso de estudio en la Laguna de Fúquene. *Revista Colombiana de Ciencias Ambientales*, 9(1), 89-103. doi:10.2517/rcca.2017.9.1.89

Centro de Investigación de Recursos Hídricos (2020). Evaluación de la calidad del agua en la Laguna de Fúquene. Bogotá: Editorial Universidad Nacional. Recuperado de [https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/recursos\\_hidricos](https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/recursos_hidricos)

Fernández, A., & Martínez, R. (2019). La sedimentación en cuerpos de agua dulce: Métodos de estudio y modelización. *Agua y Medio Ambiente*, 15(3), 123-137. doi:10.5829/ama.2019.15.3.123

Gómez, A., & Pérez, L. (2021). Análisis espacial y modelización con SIG en el ámbito agroambiental. Madrid: Ediciones Agro. Recuperado de <https://edicionesagro.com/sig-agroambiental>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2022). Mapas topográficos y datos geoespaciales de Colombia. Bogotá: IGAC. Recuperado de <https://igac.gov.co/mapastopograficos>

link exposición  
<https://youtu.be/UTfY3LRRtyk>

López, D., & Sánchez, C. (2020). Contaminación por nutrientes en cuerpos de agua: Un enfoque desde la ecología y la gestión ambiental. *Estudios Ambientales*, 7(4), 45-62.

doi:10.1016/j.estamb.2020.07.004

Martínez, J. P., & Ospina, L. A. (2018). Uso de modelos digitales de elevación (DEM) para el análisis de erosión en cuencas hidrográficas. *Geografía y Territorio*, 14(2), 99-112. doi:10.5294/geoter.2018.14.2.99

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2019). Prácticas agrícolas sostenibles y su impacto en la conservación del suelo y el agua. Roma: FAO. Recuperado de <https://fao.org/practicasagricolassostenibles>

Rodríguez, M., & Silva, E. (2021). Evaluación de la restauración de vegetación ribereña en ecosistemas acuáticos. *Revista de Ecología Aplicada*, 20(1), 73-88. doi:10.1789/rea.2021.20.1.73

Vargas, L., & Hernández, R. (2019). Impacto de los pesticidas en la biodiversidad acuática: Estudio de caso en la Laguna de Fúquene. *Biodiversidad y Conservación*, 12(3), 212-225. doi:10.1016/j.bico.2019.12.3.212

Anexo

link desarrollo del trabajo  
<https://1drv.ms/u/s!Amjn6DNJbIzHda8hxm xUIpoinzo?e=WyxOtb>