

ANÁLISIS DE LA GESTIÓN INTEGRAL DEL HUMEDAL EL BURRO PARA LA REGULACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

AUTOR:

OSCAR JAVIER BECERRA BENITEZ

DIRECTOR:

MARIBEL PINILLA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

PROYECTO CURRICULAR DE ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL

SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN (CEA) COMPETITIVIDAD ECONÓMICA AMBIENTAL

BOGOTA D.C

Agradecimientos

Quiero hacer un reconocimiento a todas las personas que hicieron posible este trabajo de investigación, especialmente a mi docente directora Maribel Pinilla y al semillero CEA (competitividad económica ambiental) los cuales fueron de gran ayuda en todo el proceso de elaboración de este documento, adicionalmente quiero agradecer a mi familia y a toda la planta de docentes del proyecto curricular de Administración Ambiental ya que fueron el pilar y la línea base para poder tener los lineamientos y conocimientos que tengo actualmente y que hicieron realidad este trabajo.

Tabla de contenido

Resumen 4
Introducción 8
Justificación 13
Objetivos 14
Metodología 15
CAPÍTULO DE RESULTADOS OBJETIVO 1 19
1.1 Muestreo documental de la cobertura vegetal del humedal para tener un panorama de la biomasa presente en sus especies bióticas 19
1.2 Análisis de suelos para determinar su contenido de carbono orgánico y evaluar su capacidad de almacenamiento de carbono 28
1.3 Estudio de los factores ambientales relevantes, como temperatura, humedad, precipitación y niveles de agua, para determinar las condiciones que influyen en la regulación de GEI en el humedal 31
1.3.1 Temperatura 32
1.3.2 Precipitación 34
1.3.3 Humedad relativa 36
CAPÍTULO DE RESULTADOS OBJETIVO 2 39
2.1 Diagnóstico ambiental de las principales problemáticas ambientales que afectan al Humedal el Burro, como la contaminación del agua, alteración de la cobertura vegetal y la degradación de los suelos. 39
2.1.1 Fragmentación del humedal en dos sectores 40
2.1.2 Contaminación del agua 41
2.1.3 Especies invasoras 43
Fragmentación de humedal por causa de la construcción de la avenida ciudad de Cali 44
Recurso 44
Negativo 44
Contaminación de agua debido a los vertimientos de canal tintal y aguas residuales domésticas de la zona además de deportivos de basuras alrededor de las áreas húmedas. 44
Recurso Hídrico y vegetación acuática 44
Negativo 44
Especies como el pasto kikuyo entre otras evitan que las especies de plantas que aportan a la captura de GEI se reproduzcan y a su vez se esparzan en el área de humedal 45
Recurso vegetativo y suelo 45
Negativo 45
2.2 Análisis de las mediciones de las RMCAB y el ministerio de ambiente en diferentes momentos dentro del Humedal el Burro 45
2.2.1 Ozono O3 en los dos primeros trimestres de 2023 47
2.2.2 Concentraciones de SO2, NO2, CO en los primeros dos trimestres del año 2023. 48
2.2.3 Contracciones de GEI 2021 y 2022 49
CAPÍTULO DE RESULTADOS OBJETIVO 3 53
3.1 Estrategias de Restauración y Manejo 53
3.1.1 Implementación de Metodologías bajo el Estándar VCS 53

3.1.2 Manejo de la restauración y conservación de la vegetación acuática 59
3.2 Estrategias de Evaluación y Monitoreo 62
3.2.1 Metodología estandarizada para la evaluación de humedales a nivel de sitio. 62
3.2.1 Metodología de Evaluaciones Biológicas Rápidas 66
3.3 Estrategias de Educación y concienciación 68
3.3.1 Herramientas de Sensibilización socio ambiental para la conservación y el uso sostenible de los humedales enfocado en la regulación de gases de efecto invernadero. 70
3.4 Evaluación de la viabilidad y efectividad 71
3.4.1 Presupuesto de medidas 72
3.4.2 Inversión inicial 73
3.4.3 Talento Humano 74
3.4.4 Gastos 75
3.4.5 Costos 76
3.4.6 Resumen indicadores de viabilidad 77
Conclusiones 82
Recomendaciones 87
Bibliografía 92

Figuras

Figura 1. Cobertura Vegetal Humedal el Burro 22
Figura 2. Porcentaje de ocupación de los Tipos fisonómicos en el Humedal el Burro… 24
Figura 3. Comportamiento histórico de la humedad relativa promedia multianual 37
Figura 4. Fragmentación del Humedal el Burro por Av. Ciudad de Cali 40
Figura 5. Contaminación del recurso hídrico en el Humedal el Burro, 2023 42
Figura 6. Promedio Ponderado de Emisiones de Gases para el año 2021 y 2022 50
Figura 7. Promedio Ponderado de Emisiones por cada gas… 52
Figura 8. Metodología estandarizada para la evaluación del recurso agua 64
Figura 9. Metodología estandarizada para la evaluación de la vegetación 65
Figura 10. Metodología estandarizada para la evaluación del recurso suelo… 66
Figura 11. Implementación de Procesos Comunitarios de Educación Ambiental en el Humedal el Burro 2023 69

Tablas

Tabla 1. Comparación del promedio de temperatura superficial de las estaciones de La RMCAB de los dos primeros semestres del año 2023 32
Tabla 2. Precipitación acumulada en los dos primeros trimestres de año 2023 por Estación y totales mensuales con número de días con lluvia Trimestre… 35
Tabla 3. Calidad del agua… 42
Tabla 4. Matriz de comparación de aspectos generales para las problemáticas del Humedal El Burro… 44
Tabla 5. Emisiones de GEI para el año 2021 y 2022 50
Tabla 6. Presupuesto de medidas para el proyecto 72
Tabla 7. Inversión inicial… 73
Tabla 8. Salario anual talento humano 75

Tabla 9. Gastos estimados de Proyecto.....75
Tabla 10. Costos estimados de proyecto 76
Tabla 11. Flujo de caja.....77
Tabla 12.VPN - VAN - VNA.....78
Tabla 13. TIR Ajustada 79
Tabla 14. PAYBACK.....80
Tabla 15. Análisis de Sensibilidad.....81

Resumen

El presente proyecto de investigación se centró en analizar la gestión integral del Humedal el Burro con el propósito de comprender su capacidad para regular los gases de efecto invernadero (GEI). Para lograrlo, se plantearon los siguientes objetivos: Evaluar los recursos naturales del humedal que contribuyen de manera significativa a la regulación de estos gases, analizar las problemáticas existentes e identificar las fuentes de emisiones en la zona del humedal además de los impactos resultantes en el ecosistema, y por último proponer estrategias y medidas para la gestión integral del humedal que mejoren su capacidad como regulador de gases de efecto invernadero. La evaluación de los recursos naturales del Humedal el Burro se realizó mediante un análisis detallado de los componentes del humedal que tienen un papel relevante en la absorción, almacenamiento e intercambio de gases.

Se llevó a cabo un estudio exhaustivo de la vegetación, los cuerpos de agua, el suelo y otros elementos ambientales presentes en el humedal, esto con el fin de identificar sus contribuciones específicas. La identificación de las fuentes de emisiones contaminantes y los impactos resultantes, se abordaron mediante una evaluación de las actividades humanas presentes en la zona del humedal. Se investigaron además los sectores de la localidad de Kennedy y algunos de la localidad de Fontibón con el objetivo de identificar las principales fuentes de emisiones y entender cómo estas afectan la capacidad del humedal y así mismo dimensionar el nivel de importancia de este ecosistema. Además, se analizaron los efectos negativos de las emisiones en el ecosistema, incluyendo cambios en la calidad del agua, alteraciones en la biodiversidad y posibles efectos sobre los ciclos biogeoquímicos.

La iniciativa de proponer estrategias y medidas para la gestión integral del humedal se orientó en mejorar su capacidad como regulador de GEI sin incidir o afectar las actividades que ya se vienen realizando.

Se consideraron acciones de conservación y restauración del humedal, así como la implementación de prácticas sostenibles en las actividades cercanas al humedal. También se analizaron estrategias de educación ambiental, la participación comunitaria para fomentar la conciencia y el compromiso con la protección del humedal y la mitigación del cambio climático. Los resultados de este proyecto de investigación incluyen la identificación y evaluación de los recursos naturales del humedal que contribuyen significativamente a la regulación de los gases de efecto invernadero.

Se obtuvo un análisis detallado de los componentes del humedal, como la vegetación, los cuerpos de agua y el suelo, con el fin de determinar su capacidad para absorber, almacenar y mitigar los gases de efecto invernadero. Además, se identificaron las principales fuentes de emisiones de estos gases en la zona del humedal y se analizaron sus impactos en el ecosistema.

Esto implicó recopilar datos precisos sobre las actividades y los factores ambientales que generan emisiones significativas de gases de efecto invernadero. Asimismo, se evidenció en detalle el impacto de estas emisiones en la calidad del agua, la biodiversidad y otros componentes del humedal. Con base en estos resultados, se propone implementar estrategias y medidas generales teniendo en cuenta los aspectos abordados para una correcta gestión integral del humedal, esto con el

objetivo de mejorar su capacidad como regulador de gases de efecto invernadero. Estas propuestas se fundamentan en los hallazgos previos y se centrarán en acciones de conservación y restauración, así como en la implementación de prácticas sostenibles. Estas propuestas tuvieron en cuenta consideraciones técnicas, económicas y sociales que pueden incluir acciones de conservación y restauración del humedal, como la protección de la vegetación natural o la rehabilitación de zonas degradadas.

Se mencionó y aclaró la importancia de la implementación de prácticas sostenibles, con el fin de reducir las acciones humanas que puedan producir emisiones de gases de efecto invernadero. Es importante destacar que estos resultados se enfocan en la fase de propuesta de estrategias y medidas, y no en su implementación. La implementación de las propuestas se hizo teniendo en cuenta la participación y el compromiso de las partes interesadas pertinentes, así como la asignación de recursos y la planificación adecuada

Palabras clave

Gases de efecto invernadero, cambio climático, humedal,

Abstract

This research project focused on analyzing the integrated management of the El Burro wetland in order to understand its capacity to regulate greenhouse gasses (GHG). To achieve this, the following objectives were proposed: evaluate the natural resources of the wetland that contribute significantly to the regulation of these gasses, analyze the existing problems and identify the sources of emissions in the wetland area as well

as the resulting impacts on the ecosystem, and finally propose strategies and measures for the integrated management of the wetland to improve its capacity as a regulator of greenhouse gasses. The evaluation of the natural resources of Humedal el Burro was carried out through a detailed analysis of the wetland components that have a relevant role in the absorption, storage and exchange of gasses.

An exhaustive study of the vegetation, water bodies, soil and other environmental elements present in the wetland was carried out in order to identify their specific contributions. The identification of the sources of pollutant emissions and the resulting impacts were addressed through an evaluation of the human activities present in the wetland area. The sectors of the locality of Kennedy and some of the locality of Fontibón were also investigated with the objective of identifying the main sources of emissions and understanding how these affect the capacity of the wetland and thus dimensioning the level of importance of this ecosystem. In addition, the negative effects of emissions on the ecosystem were analyzed, including changes in water quality, alterations in biodiversity and possible effects on biogeochemical cycles.

The initiative to propose strategies and measures for the integrated management of the wetland was aimed at improving its capacity as a regulator of greenhouse gasses without affecting the activities already being carried out.

Wetland conservation and restoration actions were considered, as well as the implementation of sustainable practices in activities near the wetland. Environmental education strategies, community participation to promote awareness and commitment to wetland protection and climate change mitigation were also analyzed. The results

of this research project include the identification and evaluation of the wetland's natural resources that contribute significantly to the regulation of greenhouse gasses.

A detailed analysis of wetland components such as vegetation, water bodies and soil was obtained to determine their capacity to absorb, store and mitigate greenhouse gasses. In addition, the main sources of emissions of these gasses in the wetland area were identified and their impacts on the ecosystem were analyzed.

Keywords

Greenhouse gasses, climate change, wetland,

Introducción

El Humedal el Burro es un ecosistema que se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá, Colombia. Este humedal a pesar de su importancia ecológica y sociocultural ha sido afectado por diversas actividades humanas, incluyendo la urbanización y el uso inadecuado de sus recursos naturales. Estas actividades han alterado los procesos naturales del humedal y han afectado su capacidad para regular los gases de efecto invernadero. En la actualidad se están implementando en los planes de manejo de humedal proyectos de recuperación que buscan ampliar las zonas hídricas; además de generar el establecimiento de vegetación idónea como hábitat de la fauna endémica de humedal.

La hidrología en los humedales es muy cambiante y diversa. Las zonas inundables pueden ser permanentes o intermitentes, el nivel de salinidad empieza desde el agua salina hasta transitar al agua dulce. Los humedales, normalmente están conectados con una superficie de agua, como lagos, lagunas y ríos. No obstante, también se evidencian humedales apartados de aguas superficiales, los cuales tienen relación

con aguas subterráneas, (Mitsch y Gosselink, 2000).

En el caso del Humedal el Burro, se han identificado especies de plantas y microorganismos que contribuyen a la regulación de los GEI como es habitual en estos ecosistemas, el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) entre otros.

La retención de carbono en humedales se da, en una gran parte, a través de las plantas que captan el dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera y lo trasforman por medio de procesos anaerobios en carbono orgánico. Con el pasar del tiempo se han visto resultados de 0,4 - 32 Mg de Carbono al año para distintos ecosistemas de humedal, estos poseen propiedades similares a las del Humedal el Burro por lo cual se puede inferir que este puede llegar a ese rango de concentraciones de carbono. Además, el asentamiento de agua en los suelos de humedales maximiza la absorción de carbono debido a que disminuye la velocidad de descomposición de la materia orgánica.

Por tanto, es imperativo realizar un análisis profundo de las estrategias y alternativas disponibles para gestionar estos humedales de manera efectiva con el objetivo de optimizar su capacidad para capturar y almacenar GEI. Estos ecosistemas albergan una diversidad biológica única, cuentan con plantas acuáticas y microorganismos que realizan procesos de fotosíntesis y almacenamiento de carbono. El estudio de las estrategias que potencien estos procesos resulta esencial para maximizar la eficiencia de retención de gases en el humedal.

Otro aspecto crucial es la integración de los humedales urbanos en planes de desarrollo sostenible y estrategias de adaptación al cambio climático a nivel local y regional. Estudiar cómo estas áreas verdes pueden ser consideradas en políticas urbanas y de gestión ambiental permitirá maximizar sus beneficios como reguladores climáticos y reservorios de biodiversidad. Asimismo, la sensibilización pública y la participación ciudadana son componentes esenciales en la gestión exitosa de este ecosistema. El conocimiento sobre la importancia de estos ecosistemas en la retención de GEI puede impulsar la adopción de prácticas responsables por parte de la comunidad, fortaleciendo así la protección y conservación de estos valiosos espacios.

En conclusión, el estudio detenido de estrategias y alternativas para la gestión de humedales urbanos en la retención de GEI es crucial para abordar los desafíos ambientales contemporáneos. La integración efectiva de estos ecosistemas en la planificación urbana y la concienciación ciudadana son pasos esenciales hacia un futuro más sostenible, donde los humedales cumplen su función vital en la mitigación del cambio climático y la preservación de la biodiversidad

Problema de Investigación

En el caso del Humedal El Burro, se han identificado especies de plantas y microorganismos que contribuyen a la regulación de los GEI como es característico de estos ecosistemas, algunas de estas plantas pueden aportar a la absorción de gases como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O).

Ahora bien, si entramos a analizar la situación actual del humedal podemos identificar varios factores que afectan su capacidad por ejemplo la Avenida Ciudad de Cali, partió

en dos zonas el humedal, dificultando la comunicación hídrica entre las dos partes y adicionalmente aumentando la carga de contaminación atmosférica de la zona ya que es una vía de alto flujo vehicular donde transitan vehículos de carga pesada. (González, 2015)

Cerca de un 30% de los humedales de la Sabana de Bogotá están fragmentados debido a la construcción de vías, este es uno de los problemas más importantes para el bienestar del humedal ya que la construcción de vías interrumpe el flujo hídrico y el correcto funcionamiento del ecosistema.

Este aumento de contaminación por los vehículos se le suman las emisiones producidas en las localidades de Kennedy y Fontibón, según el inventario de emisiones en Bogotá elaborado por la secretaria distrital de medio ambiente en Kennedy hay un promedio de emisiones de 718,79 tCO_2 equivalente y en Fontibón 443,89 tCO_2 equivalente, lo cual refleja un 11,7% de las emisiones totales de Bogotá ,estas emisiones se distribuye en 3 sectores, residuos en un 18%, energía estacionaria un 34% y el transporte en un 48%, estos aspectos están afectando significativamente los índices de calidad del aire tanto para la población como para este ecosistema. (Pulido, 2008)

Estos factores mencionados anteriormente han generado inquietudes sobre la capacidad del humedal en la contribución al cambio climático y la necesidad de adoptar medidas de conservación y restauración para mejorar la calidad del aire en la zona. Por lo tanto, es evidente la necesidad de llevar a cabo un análisis para la gestión integral del humedal que permita comprender y mejorar su capacidad como

regulador de gases de efecto invernadero. Los resultados de este análisis podrían ser utilizados para desarrollar estrategias y medidas de gestión adecuados para la conservación y restauración del Humedal El Burro, enfocado en la mitigación del cambio climático en la ciudad de Bogotá y en ser modelo de réplica para otros contextos urbanos donde existan humedales. Finalmente, la falta de una gestión integral adecuada del Humedal El Burro está afectando negativamente su capacidad para regular los gases de efecto invernadero, lo que puede tener consecuencias perjudiciales para el equilibrio climático y la conservación del humedal.

Existe la necesidad de identificar las fuentes y emisiones de GEI en el humedal, evaluar el impacto de las actividades humanas y proponer medidas de gestión efectivas para mitigar estas emisiones además de promover la conservación del humedal. Dado lo anterior la pregunta de investigación es ¿Cuál es la efectividad de la gestión integral actual del humedal El Burro en términos de regulación de gases de efecto invernadero? y como preguntas de investigación secundaria son: ¿Cuáles son los recursos naturales presentes en el humedal El Burro que desempeñan un papel significativo en la regulación de gases de efecto invernadero? ¿Cuáles son las principales problemáticas y fuentes de emisiones de GEI en la zona del humedal El Burro? ¿Cuáles son los impactos ambientales del humedal El Burro asociados con las emisiones de gases de efecto invernadero? ¿Cómo se puede mejorar la capacidad del humedal El Burro como regulador de GEI mediante estrategias y medidas de gestión? con esta pregunta se busca tener un panorama general para poder resolver la problemática planteada.

Justificación

El Humedal el Burro es un ecosistema de sabana que si bien es cierto no cuenta con las condiciones idóneas de los humedales costeros para la retención de GEI si cuenta con ciertas condiciones favorables para convertirse en un importante recurso que aporte en la mejora de la calidad del aire y la mitigación de cambio climático a nivel local. (Hunt, P.G. 2009)

Este proyecto de investigación tiene una justificación sólida al enfocarse en el análisis para la gestión integral del Humedal el Burro, con énfasis en la regulación de gases de efecto invernadero. Es conocido que los humedales desempeñan un papel importante en la mitigación del cambio climático al capturar y almacenar grandes cantidades de carbono y otros gases, el humedal al ser un ecosistema estratégico que alberga especies vegetativas tanto de carácter terrestre como acuático cuenta con el potencial de contribuir a la captura y retención de estos gases efecto invernadero, además de contar con suelos que por sus características también pueden aportar significativamente.

Mediante un análisis exhaustivo de las problemáticas del ecosistema sumado a las fuentes de emisión, la evaluación de la capacidad del humedal para capturar gases, y la implementación de medidas de gestión integral para su conservación y restauración, a su vez se pueden desarrollar estrategias efectivas para preservar y potenciar la capacidad del Humedal el Burro como regulador de gases de efecto invernadero. Así mismo, se puede promover el turismo sostenible en la zona, lo que generaría oportunidades económicas para la comunidad local. Este enfoque integral permitirá una gestión holística del humedal, abordando tanto las emisiones de GEI

como otros aspectos relevantes para su conservación y desarrollo sostenible (A. Garzón, 2022). Cabe recordar que los humedales son un recurso que si se mantiene en su estado óptimo contribuye a disminuir el cambio climático, pero a su vez existen estudios que revelan que si los humedales no se conservan pueden ser generadores de gases de efecto invernadero

Objetivos

Objetivo general

Analizar la efectividad y capacidad general del manejo integral del Humedal el Burro en la regulación de GEI para la conservación y la mitigación del cambio climático.

Objetivos específicos

1. Evaluar los recursos naturales del Humedal el Burro que contribuyan significativamente a la regulación de gases de efecto invernadero.

2. Identificar las problemáticas y fuentes de emisiones de GEI en la zona del humedal, así como los impactos al ecosistema.

3. Proponer estrategias y medidas para la gestión integral del humedal enfocadas en mejorar la capacidad como regulador de gases de efecto invernadero.

Metodología

Diseño Metodológico objetivo específico 1: Evaluar los recursos naturales del Humedal el Burro que contribuyan significativamente a la regulación de gases de efecto invernadero.

Definición de variables:

- Recursos naturales del Humedal el Burro: Identificar los diferentes componentes del humedal que contribuyen a la regulación de gases de efecto invernadero, como la vegetación, el suelo, los cuerpos de agua.
- Regulación de gases de efecto invernadero: Evaluar la capacidad de los recursos naturales del humedal para capturar, almacenar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO2), Metano (CH4), ozono (O3) y óxido nitroso (N2O).

Recopilación de datos:

- Revisión bibliográfica: Investigar estudios previos y literatura científica relacionada con los recursos naturales del Humedal el Burro y su contribución a la regulación de gases de efecto invernadero.
- Muestreo y mapeo: Realizar un muestreo representativo del humedal para recolectar datos sobre la vegetación, la calidad del suelo, los cuerpos de agua.
- Análisis de información: Realizar un análisis de las mediciones de las RMCAB y el ministerio de ambiente de los GEI como dióxido de carbono (CO2), Metano (CH4), ozono (O3) y óxido nitroso (N2O), en diferentes momentos dentro del Humedal el Burro.

Análisis de datos:

- Caracterización de los recursos naturales: Analizar los datos recopilados para describir las características de los recursos naturales del Humedal el Burro, como la diversidad vegetal, la densidad de biomasa, la capacidad de retención de carbono del suelo, etc.

- Evaluación de la regulación de gases de efecto invernadero: Establecer la relación entre las características de los recursos naturales y su contribución a la regulación de gases de efecto invernadero, considerando factores como la captura y almacenamiento de carbono, consumo de metano y la emisión de óxido nitroso.
- Cuantificación de la contribución: Estimar la magnitud de la contribución de los recursos naturales del Humedal el Burro a la regulación de GEI en términos de toneladas de CO_2 equivalente.

Diseño Metodológico objetivo específico 2: Identificar las problemáticas y fuentes de emisiones de GEI en la zona del humedal, así como los impactos al ecosistema.

Definición de variables:

- Problemáticas: Identificar y describir las principales cuestiones o desafíos ambientales relacionados con los GEI en la zona del humedal.
- Fuentes de emisiones: Identificar las fuentes específicas que contribuyen a las emisiones de GEI en el área del humedal.
- Impactos al ecosistema: Evaluar los efectos adversos o cambios causados por las emisiones de GEI en el ecosistema del humedal.

Recopilación de datos:

- Revisión bibliográfica: Investigar estudios previos, informes científicos y datos relevantes sobre problemáticas, fuentes de emisiones y sus impactos asociados en humedales similares.

Análisis de datos:

- Caracterización de problemáticas: Analizar los datos obtenidos para visualizar y describir las problemáticas ambientales más importantes relacionadas con las emisiones de GEIen el humedal.
- Identificación de fuentes de emisiones: Evaluar los datos y las mediciones para determinar las fuentes específicas de emisiones de GEI en la zona del humedal.
- Evaluación de impactos al ecosistema: Analizar los efectos y cambios observados en el ecosistema del humedal a causa de las emisiones de gases de efecto invernadero, considerando indicadores biológicos, químicos y físicos.

Interpretación de resultados:

- Relación entre problemáticas, fuentes e impactos: Establecer conexiones y relaciones entre las problemáticas identificadas, las fuentes de emisiones y los impactos al ecosistema.
- Evaluación de la gravedad y priorización: Evaluar la importancia y gravedad de las problemáticas identificadas y sus fuentes de emisiones para establecer prioridades en términos de conservación y mitigación.

Diseño Metodológico objetivo específico 3: Proponer estrategias y medidas para la gestión integral del humedal enfocadas en mejorar la capacidad como regulador de gases de efecto invernadero.

Evaluación inicial:

- Revisión de literatura y estudios existentes: Analizar investigaciones previas, informes técnicos y literatura relevante sobre la gestión de humedales y su papel en la regulación de gases de efecto invernadero.

- Recopilación de datos básicos: Recolectar información sobre las características físicas, biológicas y climáticas del humedal, así como datos sobre las emisiones de GEI existentes.

Identificación de áreas críticas

- Mapeo y análisis espacial: Realizar un mapeo del humedal para identificar áreas clave que contribuyan significativamente a la regulación de gases de efecto invernadero, como áreas de vegetación densa o cuerpos de agua.

Análisis de causas y presiones

- Identificación de fuentes de emisiones: Determinar las principales fuentes de emisiones de GEI en el humedal, como las actividades humanas, residuos, energía estacionaria y transporte.
- Evaluación de factores de presión: Analizar los factores y actividades humanas que contribuyen a las emisiones y que afectan la capacidad del humedal como regulador de gases de efecto invernadero, como la calidad del agua, la cobertura vegetal y la degradación de suelos.

Desarrollo de estrategias y medidas:

- Identificación de medidas de mitigación: Proporcionar una lista de posibles medidas para reducir las emisiones de GEI en el humedal, como la restauración de vegetación, recuperación del suelo y la gestión del agua.
- Evaluación de la viabilidad y efectividad: Evaluar la viabilidad financiera de las medidas propuestas, así como su efectividad para mejorar la capacidad del humedal como regulador de gases de efecto invernadero.

CAPÍTULO DE RESULTADOS OBJETIVO 1

Este capítulo presenta el resultado del objetivo específico 1, Evaluar los recursos naturales del Humedal el Burro que contribuyan significativamente a la regulación de GEI para ello se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

1.1 Muestreo documental de la cobertura vegetal del humedal para tener un panorama de la biomasa presente en sus especies bióticas

Para tener un panorama de lo que representa la biomasa en términos de captura de CO2 en el Humedal el Burro, primero se debe tener en cuenta factores generales sobre la biomasa como su impacto en el ecosistema, su representación y sus características. Sabemos que los humedales son lugares que están entre el las características terrestres y acuáticas, se reconocen porque sus suelos están llenos de agua dulce, este ecosistema está dominado por ciclos anaerobios y vegetación compuesta por vegetación vasculares con adaptaciones a este tipo de entornos, entre las que más resaltan son las macrófitas (Reddy y De Laune, 2008).

Macrófitas o hidrófilas como lo mencionamos anteriormente, son plantas acuáticas que están acondicionadas para vivir en suelos húmedos o sumergidos en el agua. Las hidrófilas son la base en la cadena alimentaria de los humedales, una parte de las plantas acuáticas son notoriamente eficientes y a comparación de los sistemas terrestres, mucha de la materia orgánica que producen no es ingerida por herbívoros, sino que es transformada en detritus. Las plantas suministran espacios estructurales importantes para los conjuntos taxonómicos como las bacterias epifitas, perifiton, macroinvertebrados y peces (Cronk y Fennesy, 2001).

En la actualidad el humedal cuenta con una diversidad vegetativa baja, pese a que se encuentran algunas especies vegetativas de gran importancia en cuanto a la acumulación de materia orgánica.

Si lo comparamos con otros humedales de la ciudad, el Humedal el Burro tiene una de las menores riquezas de micrófitos acuáticos y semiacuáticos las cuales son especies de vital importancia para la acumulación de GEI por sus características. Parte de los factores a tener en cuenta en el planteamiento de los planes de conservación y restauración de las especies bióticas.

La biomasa, definida como la cifra de materia orgánica acumulada en un área, es un indicador fundamental de la eficiencia de un ecosistema cuando se habla de reducción de gases de efecto invernadero. Las altas cantidades de producción de biomasa y las leves cifras de descomposición transforman a los humedales en escenarios ideales para almacenar carbono. De acuerdo con Mitsch y Gosselink (2015) se calcula que a nivel general en el mundo los humedales pueden almacenar hasta 530 Pg de carbono, que si lo comparamos es aproximadamente el 75 % del carbono atmosférico. (Paige y Baird 2016)

En el Humedal el Burro se encuentran dos significativos depósitos de carbono, está el que se evidencia en la biomasa aérea de árboles o vegetación herbácea como hojas, troncos y ramas y esta el que está presente en la biomasa subterránea como las raíces, así como el carbono de la materia orgánica almacenada en el suelo. De los humedales de la Sabana de Bogotá, el Humedal el Burro, es uno de los ecosistemas que más ha tenido cambios en su cobertura vegetal y su área inundable,

estos cambios han surgido por distintos factores tanto climáticos como de intervención humana.

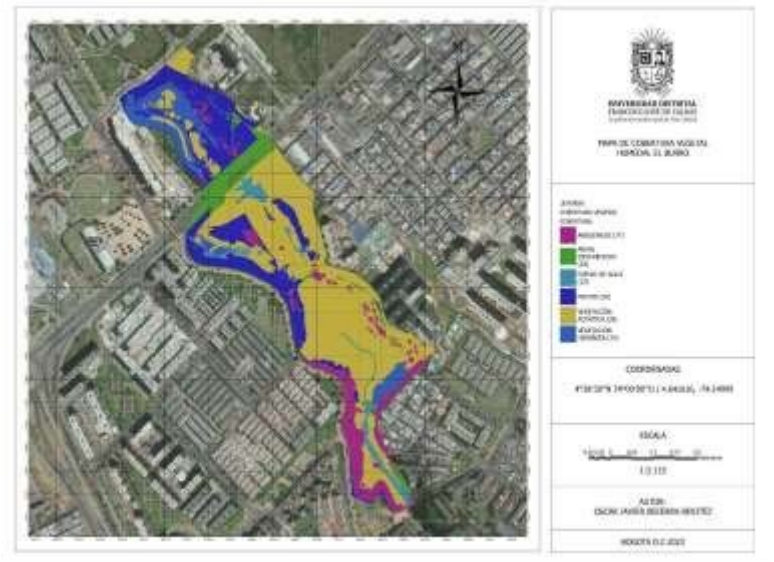
El muestreo que se realizó en el Humedal el Burro consistió en la identificación de las plantas con mejores condiciones de acumulación de materia orgánica, caracterizando las zonas de cobertura vegetal del humedal donde se presentan estas especies y por último comparando la productividad de estas plantas en ecosistemas con condiciones similares, teniendo en cuenta que en el humedal Burro se han adelantado estudios de suelos y estudios de biodiversidad los cuales han sido la base para los planes de manejo que se vienen adelantando para la preservación y conservación de humedal, sin embargo poco se ha estudiado las capacidades de humedal para retener GEI y en un caso más específico el potencial de sus especies bióticas para producir biomasa, por ende el muestreo que se realizó esta basado en el análisis de las especies vegetativas dominantes que ya han sido estudiadas previamente en otros ecosistemas con condiciones similares a las de Humedal el Burro y que pueden dar un panorama aproximado de la biomasa retenida en el humedal y la capacidad de absorción de estas especies.

Para empezar, se realizó un recuento de la biota del Humedal el Burro donde se pudo evidenciar que la vegetación terrestre está compuesta por alrededor de 14 familias y 16 especies de plantas que están compuestas entre especies nativas o especies introducidas, las especies nativas más representativas son el cerezo, sauce, aliso, acacia y eucalipto.

En referencia a la vegetación acuática se tienen identificadas 8 familias y 11 especies en total, de las cuales las más representativas son la chupana o también conocida como oreja de ratón, cortadera, cebolleta de pantano, junco, buchón, lenteja de agua, barbasco de pantano, lengua de vaca y enea, estas plantas de carácter acuático serán el foco del muestreo ya que por sus características tienen mejores propiedades de retención de materia orgánica, se debe tener en cuenta que los bióticos que fueron reforestados o incorporados son resultado de gestiones anteriores con otro tipo de enfoques por lo cual en la actualidad puede que estos recursos no generen gran valor a la regulación de GEI y a su vez existen especies invasivas en gran proporción del Humedal que disminuyen las capacidades del resto de la biota.

Como se puede identificar en la Figura 1, estos son los diferentes tipos de cobertura vegetal y el espejo de agua que presenta el Humedal el Burro, estos han sido sujetos a distintos cambios donde ha favorecido la predominancia de la vegetación acuática sin embargo también existe una gran parte de zonas secas en el humedal lo cual disminuye su capacidad de retención de gases.

Figura 1. Cobertura Vegetal Humedal el Burro



Fuente: Elaboración Propia 2023

La cobertura de los biotipos estudiados refleja un porcentaje de vegetación acuática alta, como lo son especies como los juncos y eneas, adicionalmente muestra vegetación acuática baja como la lenteja de agua o la lengua de vaca. También se evidencia un crecimiento significativo de la vegetación herbácea expuesta a factores de humedad en donde se ven pastos o relaciones de pastos con lengua de vaca o con barbasco de pantano; Esto se ve en su mayoría en la zona del costado occidental y en gran espacio del costado sur que se encuentra en la zona oriental de la Av. Cali.

A pesar de que en el humedal exista un porcentaje bajo de estas especies en los tipos fisionómicos como los juncos y las eneas se puede evidenciar que se encuentra una cantidad considerable de estas biotas siendo un punto a considerar en las futuras gestiones en el ecosistema.

A continuación, en la *Figura 2* se muestra la distribución vegetativa del humedal teniendo en cuenta el porcentaje de ocupación por cada tipo fisionómico, con esto se puede tener un aproximado de las áreas en donde se encuentran las especies que ya han sido identificadas por sus características de retención de biomasa tanto aérea como subterránea

Figura 2. Porcentaje de ocupación de los Tipos fisonómicos en el Humedal el Burro

Tipo fisionómico	Composición	Porcentaje
Pastizales	Domina el kikuyo (P. clandestinum), alternado con coralito (Galium sp.	42.68%
Praderas emergentes	Compuestas por oreja de ratón (Hydrocotyle ranunculoides), botoncillo (Bidens laveis), cortadera (Cyperus rufus), cebolleta de pantano (Eleocharis sp.), barbasco de pantano (Polygonum sp.) y lengua de vaca (Rumex conglomeratus).	31,93%
Praderas flotantes	compuestas ocasionalmente por oreja de ratón (H. ranunculoides) y de forma permanente por buchón (Limnobium laevigatum) y lenteja de agua (Lemna sp.)	3.26%
Relictos boscosos	Dentro de estos relictos las especies arbóreas dominantes son: cerezo (Prunus serótina), sauce (Salix humboldtiana), aliso (Alnus acuminata), alcaparro enano (Adipera tomentosa), sauco (Sambucus peruviana), higuerilla (Ricinus communis), divi divi de tierra fría (Caesalpinia espinosa) acacia (Acacia sp.) y eucalipto (Eucalyptus sp.	5.83%
Juncales	dominados por juncos (Juncus effusus)	1.04%
Eneales	dominados por la enea (Typha domingensis)	1.11%

Fuente: Elaboración propia 2023

La caracterización fisonómica del humedal evidencia que existe una gran parte del espacio del ecosistema que está invadido por pastizales, que lo cual se traduce en un 42% de la cobertura del humedal, a estas especies le siguen las r pradera emergente, que un 31%, y por suelo desnudo que corresponde aproximadamente el 10%, los árboles nativos y los árboles exóticos, entre los dos significa aproximadamente un 5%, los biotipos predominantes de zonas de litoral tales como juncos y eneas significan menos del 2% de la cobertura total de la zona del humedal..

Pese a que las praderas flotantes, los juncales y eneas son los tipos fisionómicos que menos porcentaje tienen en el humedal son las especies bióticas que más biomasa

acumulan, de hecho, estos tipos fisonómicos son la línea base para identificar las especies vegetativas con mejores condiciones de retención de biomasa ya que debido a su rápido crecimiento y capacidad para adaptarse a las condiciones acuáticas brindan las condiciones necesarias para retener materia orgánica.

De los tipos fisionómicos mencionados anteriormente es decir praderas flotantes, juncales y eneales estas son las principales familias que son conocidas por su alta concentración de biomasa tanto aérea como terrestre en ecosistemas con características similares al Humedal el Burro. Empezamos por los Juncos (Juncus spp), los juncos son plantas perennes que son conocidas por su capacidad para tolerar suelos inundados y tienen una alta producción de biomasa. Las Ciperáceas son una familia de plantas que incluye especies como los juncos espinosos (Schoenoplectus spp.) y los carrizos (Typha spp.), que son capaces de crecer en áreas pantanosas y contribuir significativamente a la biomasa acumulada en el humedal, Hierbas acuáticas flotantes (por ejemplo, lenteja de agua, jacinto de agua) estas plantas flotantes tienen una alta tasa de crecimiento y pueden formar densas coberturas en la superficie del agua, lo que contribuye a una acumulación significativa de biomasa., Phragmites (Phragmites australis): También conocido como carrizo común, el phragmites es una especie de planta perenne que se encuentra en muchos humedales, puede formar densas cañas y raíces subterráneas, lo que contribuye a una alta concentración de biomasa.

De acuerdo con los resultados obtenidos en ecosistemas similares al Humedal el Burro, se puede inferir que, para las especies mencionadas anteriormente se refleja una fracción de carbono que se encuentra en el rango de 37.44% y 53.81%, siendo el junco, la que contiene el mayor porcentaje de carbono almacenado en su biomasa,

con un promedio de 52.34%. En los humedales costeros se han realizado estudios donde la fracción de carbono es 82% tanto para la parte aérea y como para la terrestre, el análisis de los resultados en humedales con características de sabana es menor por obvias razones, además esto también se debe a la composición florística, la edad y la densidad poblacional que presenta el humedal (Schulze et al, 2000). Los resultados obtenidos en la presente investigación se encuentran dentro del rango (43% a 58% C) establecido por el IPCC para el factor de carbono (IPCC, 2014).

Podemos concluir por medio de este muestreo documental que la cobertura vegetal que representa aproximadamente un 30% del humedal es decir 0.56 hectáreas de las 18,84 que lo componen, cuenta con vegetación en condiciones idóneas para la retención de biomasa aérea y terrestre ya que se pueden identificar especies bióticas donde la fracción de carbono está en el rango de 37.44% y 53.81%, estas especies pertenecen principalmente a los tipos fisionómicos de pradera flotante, juncos y eneas , algunas de las principales especies que se encuentran en estos tipos fisonómicos son P. australis con un promedio de biomasa seca por hectárea de 5770 kg y de biomasa aérea de 2423 kg , seguida de Typha spp con 3840 kg de biomasa terrestre y 1498 de biomasa aérea y por último Schoenoplectus spp con 2495 kg de biomasa terrestre y 998 kg de biomasa aérea. La concentración de carbono es muy similar entre estas especies 42, 39 y 40% respectivamente.

Si hacemos un análisis de estas cifras aplicada a la cobertura vegetal presente en el Humedal el Burro y comparamos su promedio de biomasa en las especies vegetativas potenciales que es de aproximadamente 3,986 kgC/ha y como lo mencionamos anteriormente su representación en el humedal es de 0,56 hectáreas, el carbono

almacenado en el humedal está aproximadamente en 2,23216 kg C/ha.

La vegetación significa un almacén considerablemente pequeño en cuanto a captación de gases efecto invernadero, pero no por eso es, ya que el ingreso de materia orgánica conformará la turba debajo de la biomasa aérea y la consolidación de la vegetación influye en el ciclo del carbono en un humedal y promueve su secuestro. (Bedard-Haughn et al. 2006)

Cabe aclarar que el porcentaje de error puede llegar a ser considerable debido a que solo se verificó fuentes secundarias, es decir si se desea realizar una análisis a profundidad de la biomasa presente en el humedal se debe proceder con un estudio físico donde se analicen las condiciones de las especies bióticas mencionadas, este muestreo documental se hizo con el fin de tener un panorama que nos brinde lineamientos para plantear estrategias que ayuden al ecosistema a garantizar la preservación y conservación de estas especies.

1.2 Análisis de suelos para determinar su contenido de carbono orgánico y evaluar su capacidad de almacenamiento de carbono.

En el humedal se pueden evidenciar principalmente un nivel topográfico bajo a lo que Helmens y van der Hammen (1995) definen como formación Chía, la llanura de inundación y un nivel un poco más alto a los almacenes fluvio-lacustres y los rellenos antrópicos, estos almacenes pertenecen a sedimentos de grano fino por la cual soporta que pueden tener un contenido considerable de materia orgánica, por ejemplo, en zonas de inundación. Los suelos de los humedales o también conocidos como suelos hídricos, poseen sólo una diminuta capa aerobia que tiene una reducida cantidad de milímetros en la superficie (Hammer, 1992). Estos están compuestos en condiciones de saturación de agua o inundación, por un período considerablemente

largo es decir más del 5% de la temporada de desarrollo, de tal forma que las características anaerobias en la parte alta favorecen el crecimiento de hidrófilas (Environmental Laboratory, 1987).

La existencia de oxígeno en las zonas donde el suelo es trasladado por el agua desbordada en condiciones anaeróbicas. Estas características estimulan algunos procedimientos biogeoquímicos como la absorción de materia orgánica y la disminución de la presencia de hierro y otros elementos como el manganeso (USDA, 2006). Estos factores producen variaciones en algunas características de los suelos de humedales llamados características redoximórficas. (Collins y Kuehl, 2000).

Estas características son notorias aun después de drenado el humedal y son de gran ayuda para identificar los suelos del humedal (USDA, 2006). Según de Helmens y van der Hammen (1995), los depósitos fluvio-lacustres corresponden a la formación de Sabana la cual compone los suelos del humedal, esta formación tiene en su composición dos elementos llamados Qsa1 y Qsa2. El componente Qsa1 está inmerso en la parte central de la cuenca de sedimentación y está compuesto principalmente por arcillas lacustres. Hacia los costados de la cuenca aflora el componente Qsa2, en el que se denotan más las arcillas lacustres, pero se presentan con más regularidad arcillas orgánicas, turbas, arcillas arenosas y arenas arcillosas. La zona del Humedal el Burro está en la conversión de Qsa1 a Qsa2. (Helmens, 1995)

El semejante a la formación Sabana en el Mapa Geológico de Bogotá son las terrazas altas y terrazas bajas. Los componentes de volumen son más notorios en esta unidad ya que no son coherentes con las características del área del humedal, la cual se

ubica bastante apartada del piedemonte y en el mejor de los casos se trataría de la parte distal de conos coalescentes, donde se supone debe haber presencia de materiales más finos. En el mapa de microzonificación sísmica de Bogotá se optó por una respuesta neutra entre estas dos opciones y el ecosistema del humedal que quedó segmentada en la zona V, conocida como terrazas y conos.

La investigación realizada por el departamento de Ingeniería y Geodesia Ambiental en 2014 analiza un entorno en constante cambio, con la excepción de una zona específica que está asociada a la formación geológica llamada Chía. Esta zona se extiende hasta la parte más baja del humedal, donde fluyen las aguas procedentes del Canal Castilla. Las áreas restantes, que no han sido rellenadas, forman parte de la formación geológica denominada Sabana. La mayor extensión de esta formación, identificada como Qsa2, se encuentra en la parte oriental del humedal, entre la entrada del Canal Castilla y el extremo oriental de los vertederos de basura.

De acuerdo con los resultados de densidad aparente en humedales de sabana se refleja que la densidad de suelo se encuentra por debajo de 1.3 g/cm3, lo que indica una condición porosa del suelo; sin embargo, por las condiciones del humedal se puede tener un ambiente con aireación reducida, pobre para que las raíces crezcan y se reduce la infiltración del agua (FAO, 2009). Por lo tanto, el contenido de materia orgánica y porcentaje de carbono son inversamente proporcionales a dicho parámetro.

1.3 Estudio de los factores ambientales relevantes, como temperatura, humedad, precipitación y niveles de agua, para determinar las condiciones que influyen en la regulación de GEI en el humedal.

Los factores ambientales relevantes en el Humedal el Burro se derivan principalmente del clima, que es un conjunto dinámico de condiciones atmosféricas caracterizado por sus cambios a lo largo del tiempo y en un lugar específico. El clima está influenciado por factores complejos como la radiación solar y el efecto invernadero) como determinantes (como altitud, latitud, relieve y distancia al mar), y la interacción entre distintos componentes del sistema climático según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 1998). Usualmente, el clima se describe mediante las condiciones predominantes en la atmósfera, que son determinadas por elementos climáticos comunes, como temperatura, precipitación, humedad relativa, nubosidad, evaporación, evapotranspiración potencial, radiación y brillo solar.

Dentro de este grupo de factores, se resaltan la temperatura y la precipitación, las cuales desempeñan un papel crucial en la regulación de los GEI al incidir directamente en la vegetación y en la composición del suelo. La exploración de estas oscilaciones resulta particularmente fascinante en el contexto de la temperatura y la precipitación. En el caso de la temperatura, los impactos derivados del cambio global y la urbanización podrían dar lugar a un aumento en las temperaturas atmosféricas. Mientras tanto, en el ámbito de la precipitación, las variaciones adquieren una importancia destacada para los humedales que han experimentado cambios en su patrón hidrológico.

El Humedal el Burro, al estar desconectado de la cuenca del río Fucha, ejemplifica de manera elocuente la relevancia de una posible reducción en la precipitación cuando ya no recibe aportes de la cuenca. En este contexto, se llevará a cabo la caracterización climática a través del examen de las medias mensuales multianuales

de los elementos climatológicos fundamentales, centrándose en un análisis de variabilidad específico de la temperatura del aire y la precipitación.

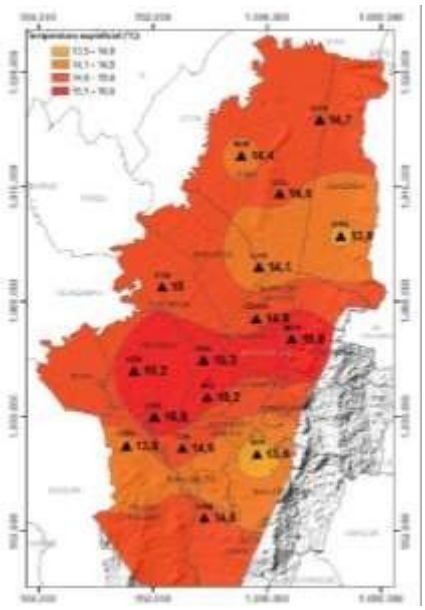
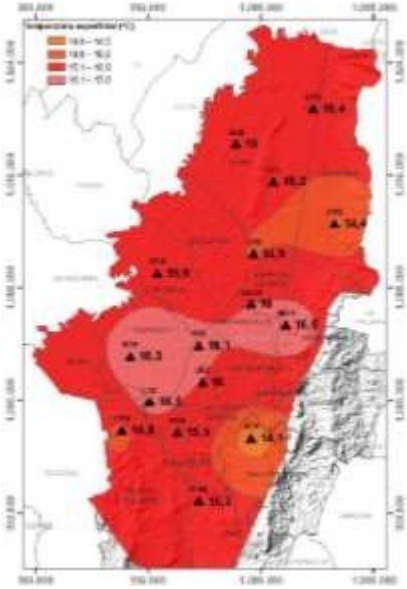
En sintonía con otros humedales de la Sabana de Bogotá, el Humedal el Burro ocupa una posición en el altiplano Cundiboyacense de la zona ecuatorial. En esta área geográfica, las variaciones en la insolación y la radiación son mínimas a lo largo del año. La duración del día y la noche es prácticamente constante durante todo el año, y la radiación alcanza niveles significativamente elevados en el límite superior de la atmósfera.

Sin importar que los rayos solares inciden casi verticalmente durante todo el año, la presencia abundante de nubosidad atenúa de manera considerable la radiación incidente. Esto se traduce en que, a nivel del suelo, los cinturones subtropicales reciben una mayor cantidad de radiación en comparación con la zona ecuatorial, a pesar de la incidencia vertical de los rayos solares a lo largo del año.

1.3.1 Temperatura

Para hacer un análisis de comportamiento de la temperatura se analizaron los dos primeros semestres del año 2023 donde se encontraron ligeras diferencias en cuanto a las estaciones de Kennedy.

Tabla 1. Comparación del promedio de temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB de los dos primeros semestres del año 2023

Primer Trimestre Ene - Mar 2023	Segundo Trimestre Abr - Jun 2023
	

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente, 2023.

Como se aprecia en la *Tabla 1* para el primer trimestre del año la temperatura media superficial evidencia una pequeña reducción con respecto al segundo trimestre del 2023 en un rango característico que recorre todo el territorio de oriente a occidente por el centro de la ciudad y que cubre cotidianamente las estaciones Kennedy, Carvajal - Sevillana, Jazmín, Puente Aranda, CDAR y Móvil 7ma, con temperaturas que varían entre 15,2 °C a 15,8 °C se puede concluir que en promedio la temperatura media trimestral superficial en la ciudad fluctuó entre 13,5 °C hasta 15,8 °C con una media general de 14,7 °C (Secretaría Distrital de Ambiente,2023). Teniendo en cuenta los datos de la Red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá se puede llegar inferir que la temperatura a nivel general en Bogotá es apta para las especies bióticas y el cuerpo de agua del humedal sin embargo se debe tener en cuenta el aumento de temperatura a nivel gradual ya que esto puede afectar el nivel de humedad en el ecosistema alterando así los procesos de retención e intercambio de gases.

1.3.2 Precipitación

Para hacer un análisis de comportamiento de la temperatura se tuvieron en cuenta los dos primeros semestres del año 2023 donde se entran a analizar los cambios que pueden favorecer o afectar la captación de GEIen el Humedal el Burro, esto se realiza por medio de un análisis a las estaciones de Kennedy y Fontibón donde se encontraron ligeras diferencias como se puede evidenciar en la siguiente tabla.

Tabla 2. Precipitación acumulada en los dos primeros trimestres de año 2023 por estación y totales mensuales con número de días con lluvia Trimestre

Estación	Primer Trimestre		Segundo Trimestre	
	Días con lluvia	Precipitación Acumulada	Días con lluvia	Precipitación Acumulada
Fontibón	36	352	42	141
Kennedy	36	169	30	123

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente, 2023.

El primer trimestre del año corresponde al inicio del periodo seco anual, caracterizado por condiciones de baja humedad, especialmente en los dos primeros meses. Durante el primer trimestre de 2023, se observaron resultados superiores a lo normal debido al fenómeno de La Niña. En comparación con el mismo periodo del año anterior, más de la mitad de las estaciones registraron acumulados mayores en 2023. Las estaciones Tunal, Kennedy, Colina y Usme mostraron los resultados más bajos, destacando que Kennedy, como la estación de interés en el estudio, experimentó una precipitación reducida, afectando directa e indirectamente los niveles de humedad en el humedal. Las concentraciones de gases y material particulado fueron menores en comparación con el mismo trimestre del año anterior, sugiriendo una mayor presencia de lluvias que contribuyeron a la reducción de estos contaminantes mediante el arrastre o lavado atmosférico (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023).

De la mimas manera, se observó un incremento en el número de días con lluvias durante el primer trimestre de 2023 en comparación con el año precedente, a pesar de que, al inicio de 2022, la fase fría del ENSO (La Niña) exhibía aspectos negativos más notables que en el mismo período de 2023. En coherencia con la cantidad de días y las intensidades reportadas, los meses que registraron acumulados más significativos fueron enero y marzo, destacándose las lluvias más frecuentes en las estaciones meteorológicas de San Cristóbal, Móvil 7ma, Usaquén y Min Ambiente.

El segundo trimestre del año coincide con el primer período húmedo del año, este se caracteriza por presentar condiciones húmedas lo cual favorece las condiciones en el humedal, predominantemente durante los dos primeros meses. Sin embargo, debido a condiciones predominantemente secas, asociadas a las altas temperaturas del mar en las regiones del océano pacifico, durante el segundo trimestre se dio lugar a reducciones en las precipitaciones en el país y en la ciudad de Bogotá. Tal fue el nivel de reducción en el segundo trimestre que, fue menor que el trimestre anterior de características secas, aunque se debe anotar que el primer trimestre estuvo influenciado por La Niña.

Así las cosas, para este segundo trimestre la mayoría de las estaciones registraron acumulados trimestrales por debajo de los 250 mm, salvo la estación San Cristóbal donde se acumularon 378 mm frente a 618 mm del trimestre anterior; este acumulado solo representa el 60% de lo acumulado en el primer trimestre (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023).

El comportamiento de las lluvias antes descrito, en relación con las concentraciones

de contaminantes del segundo trimestre, donde se observaron unas notables reducciones de las concentraciones de gases y partículas con respecto al trimestre anterior, permite deducir que la contribución de las lluvias con la reducción de las concentraciones de contaminantes, pudo obedecer principalmente a la fuerza y predominio del viento con un flujo persistente del suroriente que favorece su transporte y difusión turbulenta. De igual manera, se observó una disminución en el número de días con lluvias durante el segundo trimestre en comparación con el trimestre precedente. Al analizar el número de días y las intensidades reportadas, se puede inferir que los meses con acumulados más notables fueron abril y mayo, y que las lluvias más intensas se documentaron en las estaciones meteorológicas de San Cristóbal, Usaquén, Min Ambiente, Las Ferias y Fontibón.

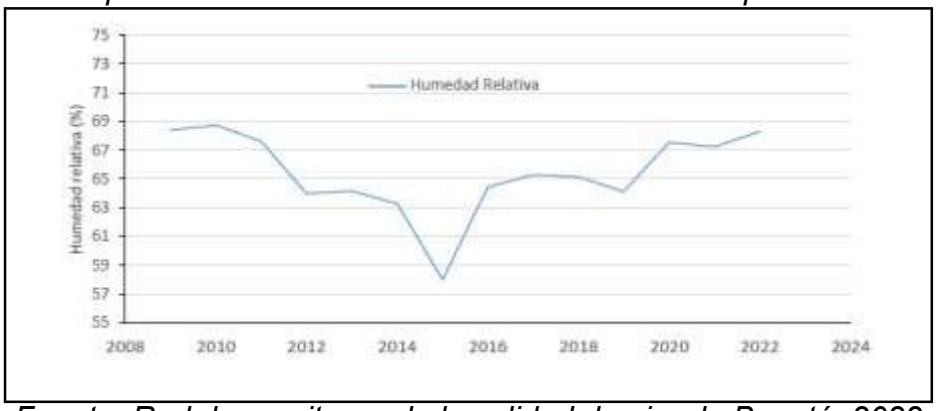
1.3.3 Humedad relativa

En relación con la zona de convergencia intertropical, se observan variaciones en las concentraciones de vapor de agua en Bogotá. Cuando este sistema, conocido por ser un generador principal de lluvias, se encuentra en su posición más al sur, se registra una disminución en la cantidad de vapor de agua en la ciudad. A medida que experimenta su ascenso relativo, se observa un aumento inicial en la proporción de vapor de agua, alcanzando su punto máximo en los meses de abril y mayo. Posteriormente, se evidencia una reducción durante la mitad del año, cuando se desplaza hacia el norte en el hemisferio norte. Durante su descenso variable, se experimenta un nuevo crecimiento en las cifras de vapor de agua, alcanzando su punto máximo entre los meses de octubre y noviembre (RMCA; 2022). Según el Informe Anual de Calidad del Aire de Bogotá de 2021, elaborado por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB), se evidencia que la atmósfera

presentó condiciones relativamente secas en los dos primeros meses, especialmente en enero. En marzo, abril y mayo, la humedad superó los promedios históricos. Aunque marzo tuvo una mayor disponibilidad de humedad, esto no se reflejó proporcionalmente en la cantidad de precipitación, a diferencia de mayo, donde a pesar de una menor disponibilidad de humedad que en marzo, las lluvias fueron más abundantes (RMCA; 2022). En el segundo semestre, la correlación entre la cantidad de humedad y la precipitación fue más estrecha. Conforme a los datos proporcionados en el Informe Anual de Calidad del Aire de Bogotá del año 2022, se observaron condiciones atmosféricas relativamente secas en enero, agosto y septiembre. En cambio, los meses de junio y noviembre experimentaron las cantidades más significativas de humedad. Durante el periodo comprendido entre febrero y marzo, la humedad relativa presentó un comportamiento semejante, mientras que en abril y mayo se mantuvo en niveles equivalentes al registro histórico. (RMCA; 2022)

En cuanto a la distribución espacial, la estación móvil de Fontibón fue una de las que registró los mayores niveles de humedad, beneficiando directamente al humedal al generar estabilidad en el ecosistema. Al analizar los datos de humedad relativa para los años 2021 y 2022, se observa en la Figura 3 que, en cuanto al comportamiento histórico anual de la humedad, se presentó un ligero aumento del promedio en 2022 en comparación con el año anterior.

Figura 3. Comportamiento histórico de la humedad relativa promedia multianual



Fuente: Red de monitoreo de la calidad de aire de Bogotá, 2022

Este ligero cambio puede obedecer a la variabilidad del elemento meteorológico en el tiempo y se evidencia con el comportamiento de las precipitaciones ocurridas durante 2022. (RMCA; 2022). Si validamos la diferencias en cuanto a los datos obtenidos en la estación de Fontibón en el comportamiento de la humedad del aire para el 2021 fue de 68% y para el 2022 de 69% es decir la diferencia es mínima y en cuanto a la estación de Kennedy podemos ver que para el año 2021 el comportamiento de la humedad estuvo en 64% y para el 2022 en 65% es decir que las diferencias han sido mínimas en ambas estaciones. Se puede deducir que la humedad experimenta un incremento exponencial, lo que favorece la retención de GEIen el humedal.

La humedad del aire desempeña un papel crucial en los procesos de reducción o transformación de sustancias contaminantes en el aire, ya que contribuye a la decantación de material particulado. Además, puede reaccionar con gases resultantes de la combustión de hidrocarburos, como los SOx y NOx, los cuales se condensan y pueden precipitar en forma de rocío, llovizna o lluvia ácida (RMCA; 2022).

CAPÍTULO DE RESULTADOS OBJETIVO 2

Este capítulo presenta el resultado del objetivo específico 2, identificación de las problemáticas y fuentes de emisiones de GEI en la zona del humedal, así como los impactos al ecosistema para ello evaluamos los siguientes parámetros:

2.1 Diagnóstico ambiental de las principales problemáticas ambientales que afectan al Humedal el Burro, como la contaminación del agua, alteración de la cobertura vegetal y la degradación de los suelos.

El Humedal el Burro cuenta con problemáticas que afectan su bienestar en general y por ende su capacidad natural de retención, con base en esta información se presenta a continuación una síntesis de las problemáticas que pueden alterar la gestión integral del humedal o que en su defecto reducen el bienestar de los recursos de este ecosistema. En la ejecución de esta fase, se llevará a cabo una evaluación de las particularidades inherentes al humedal mediante un diagnóstico que aborde sus elementos físicos, ecológicos, paisajísticos, funcionales y la calidad del agua.

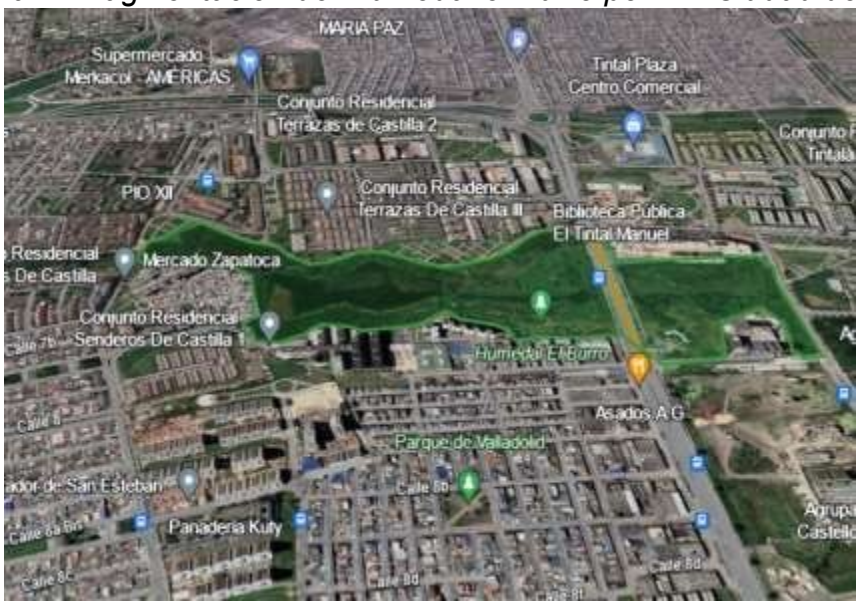
Para llevar a cabo este análisis, se emplearán herramientas que incluyen la revisión de literatura especializada en el tema, como proyectos de grado, informes emitidos por entidades territoriales y datos provenientes de libros relacionados.

2.1.1 Fragmentación del humedal en dos sectores

La fragmentación del Humedal el Burro es uno de los principales problemas que se pueden evidenciar, esta fragmentación se da por la construcción de la Avenida de ciudad Cali, la cual dividió el ecosistema en dos partes, perdiendo la conectividad de humedal, en la *Figura 3* se puede observar la fragmentación señalada anteriormente

teniendo en cuenta que las dos partes en las que se dividieron el humedal actualmente no tienen el mismo uso y tienen diferencias en cuanto a su vegetación y condiciones.

Figura 4. Fragmentación del Humedal el Burro por Av. Ciudad de Cali



Fuente: Elaboración propia Google Earth, 2023

La fragmentación del humedal causada por esta avenida ha resultado en la dificultad de establecer una comunicación hídrica efectiva entre sus dos partes. Además, esta situación contribuye al aumento de la carga de contaminación atmosférica en la zona, dado que la avenida representa una vía de alto flujo vehicular por donde circulan vehículos de carga pesada. Este incremento en la actividad vehicular no solo compromete la calidad del aire en las inmediaciones del humedal, sino que también intensifica los riesgos asociados con la emisión de contaminantes atmosféricos, afectando así la salud del ecosistema y su capacidad para mantener un equilibrio ambiental sostenible.

2.1.2 Contaminación del agua

La acumulación de residuos, productos químicos, vertidos industriales y zonales

además de las aguas residuales no tratadas han sido algunas de las fuentes de contaminación del agua en el humedal. Esto tiene un impacto negativo en la calidad del agua y en la salud de las especies que viven en el humedal. Una problemática complicada que se manifiesta en el Humedal es la recepción de múltiples tuberías que descargan aguas residuales, incluyendo las provenientes indirectamente a través del Canal Castilla, que transporta aguas de la zona oriental y nororiental del barrio Pío XII y del barrio Castilla (EDREHB, 2004).

Figura 5. Contaminación del recurso hídrico en el Humedal el Burro, 2023.



Fuente: Elaboración propia

Actualmente, el humedal se ve afectado por vertimientos de aguas residuales a través de conexiones ilegales, con la presencia de residuos de metales pesados, desechos sólidos y una concentración significativa de sedimentos. Esta problemática ha llevado a que el agua del humedal se encuentre en un estado crítico desde el punto de vista bacteriológico, con consecuencias en algunos casos irreversibles para la vegetación y la capacidad del humedal para absorber gases de efecto invernadero. Esta situación visibiliza la urgente necesidad de abordar y remediar los impactos negativos causados por los vertimientos no autorizados, así como de implementar medidas efectivas de

conservación y restauración para preservar la salud y el equilibrio del humedal a largo plazo.

Diagnóstico de la calidad del agua

De acuerdo con el estudio de la calidad bacteriológica del agua del Parque Ecológico Humedal Distrital (P.E.D.H) El Burro, se encontró que el humedal está siendo afectado negativamente por las actividades antrópicas que se desarrollan alrededor de él. Los principales hallazgos se observan en la *Tabla 3*:

Tabla 3. Calidad del agua

	COLIFORMES TOTALES UFC/100mL		E. coli UFC/100ML		Enterococcus UFC/100mL		Pseudomonas UFC/100mL	
	SECA	**LLUVIA**	**SECA**	**LLUVIA**	**SECA**	**LLUVIA**	**SECA**	**LLUVIA**
SECTOR 1	148900	286800	0	288700	17300	428800	292000	570000
SECTOR 2	93200	82000	0	82000	85100	5800	331900	87800
SECTOR 3	5520	420	920	20	4840	5803	237140	1240
SECTOR BOX COULVERT	4750	300	1100	75	9350	475	17050	3050

Fuente: Elaboración PROYECTO DE INVESTIGACIÓN VALORACIÓN ECONÓMICA SISTÉMICA HUMEDAL EL BURRO DOCENTE MARIBEL PINILLA

a. Los recuentos de Escherichia coli fueron bajos en comparación con los demás indicadores de contaminación, pero esto no indica que la calidad del agua sea apta, ya que los recuentos de Pseudomonas fueron altos.
b. La fragmentación del humedal por la Avenida Ciudad de Cali constituye un problema con la calidad del agua, ya que el sector del Box Coulvert tiene un alto recuento de Pseudomonas.
c. De las bacterias aisladas en el estudio, se destaca la presencia de Burkholderia cepacia, que es una bacteria patógena para los humanos.
d. Otro género importante hallado en el estudio fue Pseudomonas putida, que tiene

aplicaciones en la biorremediación

2.1.3 Especies invasoras

La introducción de especies exóticas invasoras en el Humedal el Burro plantea desafíos técnicos y amenazas significativas para su equilibrio ecológico. Entre las especies invasoras presentes está el retamo espinoso que se destaca por su amplia presencia en algunas áreas. Esta especie invasora puede servir como refugio para ciertas aves, como el colibrí, también conlleva riesgos para otras especies vegetativas al afectar su capacidad para retener GEI(GEI).

Además del retamo espinoso, se han identificado otras especies invasoras en el humedal, como el ojo de poeta, curuba, enea y pasto kikuyo. La presencia y propagación de estas especies exóticas demandan estrategias técnicas específicas para su control y gestión, con el fin de mitigar sus efectos negativos en la biodiversidad y en los procesos naturales del humedal.

Es esencial implementar medidas técnicas adecuadas que contribuyan a preservar la integridad del ecosistema y a restaurar su equilibrio ecológico. Estas 3 problemáticas han venido afectando de manera paulatina la captura de GEIy el bienestar en general del humedal.

Después de contemplar los aspectos generales de cada problemática que inciden o de cierta forma son relevantes se hizo un análisis teniendo en cuenta su nivel de alcance y severidad en cuanto a la afectación del humedal para retener gases de

efecto invernadero, en la *Tabla 4* se muestra los aspectos relevantes de cada problemática y su correspondiente grado de impacto.

Tabla 4. Matriz de comparación de aspectos generales para las problemáticas del Humedal El Burro

Aspecto Ambiental	Descripción de aspecto ambiental	Recurso afectado	Tipo de Impacto	Descripción de impacto ambiental	Calificación	Grado de Impacto	Importancia
Fragmentación del humedal en dos sectores	Fragmentación de humedal por causa de la construcción de la avenida ciudad de Cali	Recurso suelo y hídrico	Negativo	Pérdida del cauce natural de agua y sus propiedades, además de la contaminación del aire generada por los carros que transitan la avenida ciudad de Cali	80	Severo	Alta
Contaminación del agua	Contaminación de agua debido a los vertimientos de canal tintal y aguas residuales domésticas de la zona además de deportivos de basuras alrededor de las áreas húmedas.	Recurso Hídrico y vegetación acuática	Negativo	Afectación de la calidad de agua lo cual genera por consiguiente contaminación de las especies vegetativas acuáticas del humedal, afectando la acumulación de gases.	75	Severo	Alta
Especies invasoras	Especies como el pasto kikuyo entre otras evitan que las especies de plantas que aportan a la captura de GEIse reproduzcan y a su vez se esparzan en el área de humedal	Recurso vegetativo y suelo	Negativo	Pérdida de hábitat de fauna, reducción de las áreas donde puede crecer vegetación idónea para retención de gases y afectación de la vegetación ya existente.	42	Moderado	Media

Fuente: Elaboración propia

La calificación de cada aspecto se hizo teniendo en cuenta su incidencia en la afectación de la retención de GEI dentro del humedal y la alteración del ecosistema en general en una escala de 1 a 100 donde 100 es el máximo grado de afectación y 0 es el nivel mínimo, como se evidencia en la *Tabla 4* el aspecto que menos relevancia tiene son las especies invasoras y el que más afectación representa es la contaminación del agua seguido por muy poca diferencia de la fragmentación del humedal por la avenida ciudad de Cali. Este análisis ayuda a priorizar las medidas a tener en cuenta en los PMA y planes de restauración, con el fin de mejorar la toma de decisiones en cada gestión dentro del humedal.

2.2 Análisis de las mediciones de las RMCAB y el ministerio de ambiente en diferentes momentos dentro del Humedal el Burro

El Humedal el Burro es un ecosistema que está ubicado entre la localidad de Kennedy y Fontibón, estas dos localidades se han caracterizado los últimos años por tener índices de contaminación atmosférica moderada lo cual ha venido afectando los procesos naturales de Humedal el Burro de manera significativa, la intensa actividad industrial, el alto tráfico vehicular, la generación de energía y la construcción son algunas de las principales fuentes de emisiones de contaminantes en estas localidades.

Las causas fundamentales de la mala calidad del aire en estas localidades son similares a las de otras áreas urbanas: el aumento de la población, el crecimiento económico y el desarrollo industrial y comercial sin un enfoque sostenible. Además, los patrones de movilidad urbana ineficientes y la falta de infraestructura adecuada para el transporte público pueden agravar el problema. Adicionalmente la geografía

de la localidad también puede influir en la concentración de contaminantes. Estas localidades como muchas zonas urbanas pueden experimentar inversiones térmicas y falta de dispersión de contaminantes debido a su topografía y condiciones meteorológicas específicas.

En el Distrito Capital, se encuentra operando la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, conocida como RMCAB, la cual facilita la recopilación de información sobre la concentración de contaminantes, ya sean de origen antropogénico o natural. Esta red abarca la medición de partículas en suspensión (PM10, PM2.5), gases contaminantes (SO2, NO2, CO, O3), además de realizar un seguimiento detallado de variables meteorológicas como la lluvia, la dirección y velocidad del viento, la temperatura, la radiación solar y la humedad relativa.

Este sistema de monitoreo desempeña un papel fundamental en la evaluación y comprensión de la calidad del aire en Bogotá, permitiendo a las autoridades y a la comunidad obtener una visión detallada de la presencia de contaminantes y las condiciones meteorológicas. La información recopilada a través de la RMCAB no solo sirve para identificar posibles riesgos para la salud pública, sino que también facilita la implementación de estrategias y políticas destinadas a mejorar la calidad del aire en la capital y por ende en los ecosistemas como el Humedal el Burro. La integración de estas mediciones contribuye a la gestión efectiva de los recursos ambientales y a la promoción de un entorno más saludable para las personas cercanas al humedal.

Esta red está compuesta por estaciones fijas y móviles en todas las localidades de la ciudad, para entrar a analizar los datos de las emisiones de GEI en la zona de humedal nos enfocaremos en dos localidades.

Para analizar las mediciones de las RMCAB nos vamos a centrar en las estaciones de mediciones fijas de Fontibón y Kennedy en comparación con el resto de las localidades, estas dos localidades al estar más cerca del humedal nos pueden brindar una aproximación de las emisiones de algunos gases de efecto invernadero. (IDEAM 2021). A continuación, se presentan datos que representan las mediciones en mención, estos gráficos están basados en las concentraciones de los dos primeros Trimestres del año 2023 y hacen parte del informe del estado de la calidad de aire (IDEAM 2021).

2.2.1 Ozono O3 en los dos primeros trimestres de 2023.

Durante el primer trimestre de 2023, se llevó a cabo un análisis que abarcó los promedios de 8 horas de concentración, la mediana de los datos, las concentraciones máximas en periodos de 8 horas, el número de veces que se excedió la norma de 8 horas establecida por la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), así como el porcentaje de datos válidos en el trimestre en relación con el total de datos de la media móvil de 8 horas. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023). Posteriormente se muestra un análisis de las emisiones registradas en el primer trimestre del año 2023. En este trimestre, se destaca la identificación de concentraciones significativas, especialmente en la zona occidental, con la estación Fontibón registrando un promedio trimestral de 8 horas de 48,6 µg/m³. La concentración máxima, basada en el promedio de la media móvil de 8 horas, alcanzó los 169,6 µg/m³ en Fontibón, superando el nivel máximo permitido de 100 µg/m³ para concentraciones 8 horas.

En el segundo trimestre de 2023, se evidencia una distribución técnica heterogénea

de las concentraciones de contaminantes en diversas áreas de la ciudad, con un énfasis en las zonas occidental, sur y norte, particularmente en Fontibón, Kennedy y Usaquén. La identificación de abril como el mes con las concentraciones más elevadas señala una tendencia preocupante desde el punto de vista técnico. Sin embargo, se observaron niveles más bajos hacia finales de abril en las áreas norte, sur y occidental. Es crucial resaltar que, técnicamente, se registraron cuatro (4) excedencias de las concentraciones promedio móvil de 8 horas, todas localizadas en la estación Fontibón, superando el límite máximo permitido de 100 µg/m³ establecido por la normativa nacional para Ozono (O3) en periodos de 8 horas. Este análisis técnico resalta la urgencia de implementar medidas efectivas para mitigar las fuentes de emisión y mejorar la calidad del aire, especialmente en Fontibón.

2.2.2 Concentraciones de SO2, NO2, CO en los primeros dos trimestres del año 2023.

Las cantidades de dióxido de azufre (SO2), dióxido de nitrógeno (NO2) y monóxido de carbono (CO) durante el primer y segundo trimestre de 2023 se analizan a través de sus respectivos promedios, máximos y medianas, considerando períodos de exposición de 24 horas, 1 hora y 8 horas. La evaluación detallada de los datos válidos y las excedencias revela que las magnitudes de estas concentraciones fueron relativamente bajas durante el periodo de análisis. Históricamente, estas concentraciones se han mantenido por debajo de los límites máximos permitidos según la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) para sus respectivos tiempos de exposición. Además, se destaca que los posibles efectos en la salud pública derivados de estos contaminantes son menores en comparación con aquellos asociados al material particulado (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023).

Durante el primer trimestre de 2023, no se registraron situaciones en las que las concentraciones superaran los límites establecidos por la Resolución 2254 de 2017, ya que todas ellas se encontraban dentro de los niveles máximos permitidos. Los informes de calidad del aire de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá confirman que no se registraron excedencias para SO2 (100 µg/m3 para datos 1 hora y 50 µg/m3 para datos 24 horas), CO (5000 µg/m3 para datos 8 horas y 35000 µg/m3 para datos 1 hora) y NO2 (200 µg/m3 para datos 1 hora) en ambos trimestres. Este hecho refleja el cumplimiento riguroso de los estándares de calidad del aire, indicando que las concentraciones de estos contaminantes se mantuvieron dentro de límites seguros para la salud pública durante ese periodo de tiempo específico.

2.2.3 Contracciones de GEI2021 y 2022

Ahora bien, considerando la similitud en los comportamientos de los dos primeros trimestres del año 2023, es crucial extender nuestro análisis a periodos previos, específicamente los años 2021 y 2022. Este enfoque se centrará especialmente en la estación de Kennedy, dada su proximidad significativa al humedal, con el propósito de obtener una comprensión más holística del panorama ambiental. El énfasis en la estación de Kennedy se justifica por su ubicación estratégica y su papel como indicador relevante de las condiciones cercanas al humedal.

Para iniciar este análisis, se llevó a cabo una evaluación detallada de todos los datos de las mediciones de gases de efecto invernadero, considerando también los porcentajes de validación asociados. Estos resultados se presentan de manera sistemática en la siguiente tabla, proporcionando una visión integral de las concentraciones y su confiabilidad a lo largo de los años estudiados. Este enfoque histórico permitirá identificar patrones a largo plazo y evaluar cualquier tendencia o

cambio significativo en las concentraciones de GEI en la estación de Kennedy, proporcionando así una base sólida para abordar la calidad del aire en la zona del humedal.

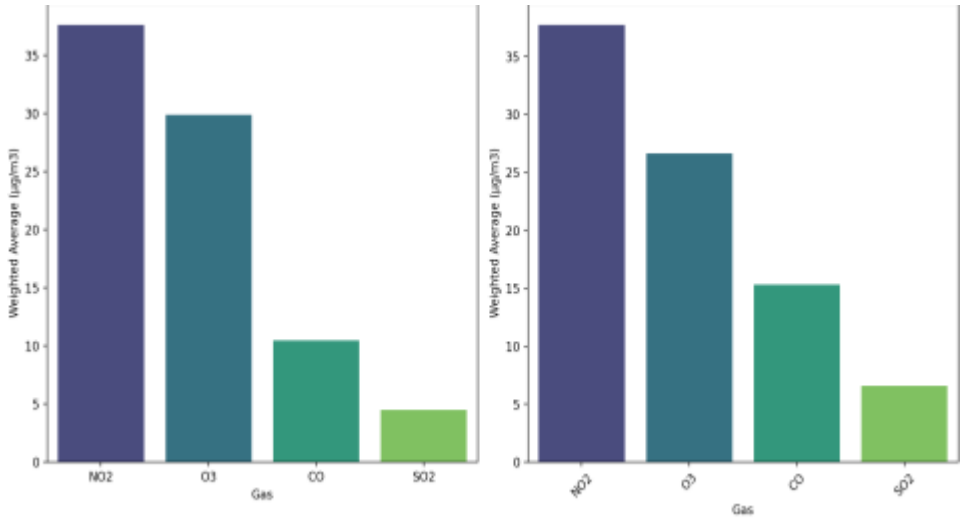
Tabla 5. Emisiones de GEI para el año 2021 y 2022.

Estación	Promedio anual. O3(µg/m3)	% Datos válidos O3	Promedio anual. SO2(µg/m3)	% Datos válidos SO2	Promedio anual.CO (µg/m3)	% Datos válidos CO	Promedio anual. NO2 (µg/m3)	% Datos válidos % NO2
Kennedy 2021	29,896	90%	4,5	93%	10,47	83%	37,6	96%
Kennedy 2022	26,621	69%	6,6	89%	15,3	75%	37,7	90%
Promedio	28,26	79,5%	5,55	91%	12,885	79%	37,65	93%

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Informe del estado de la calidad del aire de Bogotá 2021, 2022.

La tabla muestra varias columnas con datos de calidad del aire, incluyendo promedios anuales de concentraciones de ozono (O3), dióxido de azufre (SO2), monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO2), así como los porcentajes de datos válidos para cada uno de estos contaminantes. A continuación, en la *Figura 6*, se realiza un análisis más detallado de los datos, donde se puede visualizar las emisiones promedio ponderadas de gases para los años 2021 y 2022

Figura 6. Promedio Ponderado de Emisiones de Gases para el año 2021 y 2022

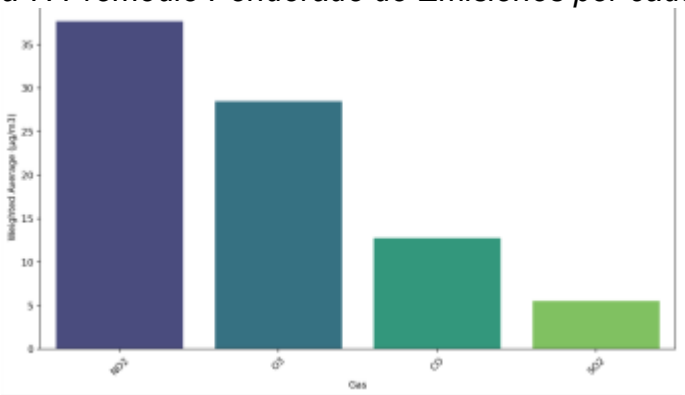


Fuente: Elaboración propia

Las emisiones medias ponderadas de cada gas revelan datos significativos. En el año 2021, las concentraciones promedio ponderadas fueron las siguientes: O3: 29,90 µg/m³, SO2: 4,50 µg/m³, CO: 10,47 µg/m³, NO2: 37,60 µg/m³. Para el año 2022, se observaron las siguientes concentraciones promedio ponderadas: O3: 26,62 µg/m³, SO2: 6,60 µg/m³, CO: 15,30 µg/m³, NO2: 37,70 µg/m³. El gráfico proporciona una representación visual de estas emisiones promedio ponderadas en microgramos por metro cúbico (µg/m³) para cada gas. Destaca nuevamente que, según el porcentaje de validación de datos, el NO2 emerge como el gas con las emisiones más significativas en ambas series temporales, seguido por el O3, CO y SO2. Es importante tener en cuenta que, en la estación de Kennedy, ninguna medición alcanzó el 100% de los datos validados, lo que indica cierta variabilidad en la recopilación de información.

Este aspecto debe considerarse en la interpretación de los resultados, subrayando la necesidad de mejorar la cobertura de datos para una evaluación más precisa de las emisiones de GEI en la zona del humedal. Después de analizar el comportamiento de las emisiones por cada año se hizo un análisis acumulado de los dos años para determinar cuál ha sido el comportamiento en general en los últimos dos años como se puede evidenciar en la figura 7.

Figura 7. Promedio Ponderado de Emisiones por cada gas



Fuente: Elaboración propia

Las emisiones medias ponderadas de cada gas, considerando su porcentaje de datos válidos, son las siguientes: O3: 28,47 µg/m³, SO2: 5,53 µg/m³, CO: 12,76 µg/m³, NO2: 37,65 µg/m³. El NO2 tiene la emisión promedio ponderada más alta, seguido del O3, CO y SO2. Este análisis no diferencia entre los años 2021 y 2022; proporciona un promedio ponderado combinado de ambos años.

CAPÍTULO DE RESULTADOS OBJETIVO 3

Este capítulo presenta el resultado del objetivo específico 3, estrategias y medidas para la gestión integral del humedal enfocadas en mejorar la capacidad como regulador de gases de efecto invernadero. Para poder plantear unas posibles estrategias que ayuden a aumentar la capacidad como regulador de GEI se deben analizar los siguientes parámetros los siguientes parámetros:

3.1 Estrategias de Restauración y Manejo

Las estrategias de restauración y manejo que se han implementado dentro del Humedal el Burro están enfocadas en la biodiversidad de la fauna y flora que alberga este ecosistema, estas estrategias pueden ser reforzadas o modificadas para que se busque el bienestar de ecosistema y a su vez estas proporciones mejores niveles de retención de gases de efecto invernadero. En seguida se muestran algunas metodologías y estrategias que se pueden implementar y ayudarían a la gestión del humedal.

3.1.1 Implementación de Metodologías bajo el Estándar VCS

Las metodologías de VCS o también llamado Estándar de Carbono Verificado establecen procedimientos detallados para cuantificar los beneficios reales de un proyecto de GEI y proporcionan orientación para ayudar a los desarrolladores de

proyectos a determinar los límites, establecer bases de referencia, evaluar la adición y cuantificar en última instancia las emisiones de GEI que se redujeron o eliminaron.

Estas metodologías están enfocadas en el sector privado y tienen como fin compensar las emisiones de GEI que se evidencian en sus cadenas productivas y las actividades económicas, esto se da gracias a la figura de los mercados de carbono ya que las empresas deben compensar sus emisiones mediante los créditos de carbono, estos créditos se adquieren desarrollando proyectos a nivel global. Estos proyectos están especialmente realizados para no generar, o reducir al máximo, la emisión de gases de efecto invernadero.

Con este estándar la idea es que se articulen los esfuerzos entre el sector público y el sector privado en pro del bienestar del humedal. Con la implementación de estas metodologías o la creación de otras bajo esta certificación los proyectos que se generen en el Humedal el Burro tendrán bases sólidas tanto técnica como financieramente para garanticen la viabilidad de estos y así se pueda contribuir a la mejora del ecosistema enfocado a la disminución de estos gases. A continuación, se muestran algunas de las metodologías que se han implementado bajo este estándar y su aplicabilidad en el Humedal el Burro.

3.1.1.1 Metodología para la restauración de humedales

Esta metodología describe los procedimientos para cuantificar las reducciones y absorciones netas de emisiones de GEI resultantes de las actividades de proyectos ejecutadas para restaurar los humedales de las mareas. Estas actividades incluyen

la creación y/o la gestión de las condiciones necesarias para los ecosistemas de humedales sanos y sostenibles.

Se espera que los proyectos que aplican esta metodología generen reducciones y absorciones de emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente mediante el aumento de la biomasa y el carbono orgánico del suelo autóctono. Los proyectos que aplican esta metodología pueden desarrollarse en cualquier parte del mundo es decir que en el caso del Humedal el burro podemos aplicar esta metodología priorizando la gestión de especies que absorben mayor carbono orgánico y modificando las propiedades de suelo para su mayor absorción. Cabe aclarar que esta metodología es genérica y abarca muchos aspectos para la restauración de humedales por los cuales solo brinda aspectos globales que pueden ser modificados dependiendo de las necesidades del Humedal el Burro en su momento.

3.1.1.2 Estimación de cambios de stock de carbono de referencia y emisiones de GEI en actividades de proyectos de restauración y conservación de Humedales.

Esta metodología proporciona procedimientos para el establecimiento de un escenario de referencia con relación a los humedales y proporciona procedimientos para estimar las reducciones de emisiones del suelo y las absorciones generadas por las actividades de proyectos implementadas en estos ecosistemas. También establece procedimientos para la contabilidad del efecto de la inmersión y la erosión en el suelo orgánico de carbono. A continuación, se muestra un ejemplo genérico de cómo podría ser implementada esta metodología en el Humedal el Burro.

Establecimiento del Escenario de Referencia: a. Identificar las características clave del Humedal el Burro, incluyendo la vegetación, la topografía y las condiciones

climáticas. b. Recopilar datos históricos sobre emisiones y absorciones de carbono en el humedal para establecer un escenario de referencia. c. Analizar la dinámica temporal del humedal para comprender las variaciones estacionales y anuales en las emisiones y absorciones de carbono.

1. **Estimación de Reducciones de Emisiones y Absorciones:**

   a. Identificar actividades de proyectos específicos que se implementarán en el Humedal el Burro para conservar o mejorar su estado.

   b. Utilizar la metodología proporcionada para estimar las reducciones de emisiones y las absorciones de carbono asociadas con cada actividad del proyecto.

   c. Considerar factores como la reforestación, la gestión del agua y otras prácticas de conservación para cuantificar los impactos en las emisiones y absorciones.

2. **Contabilidad del Efecto de la Inmersión y Erosión:**

   a. Evaluar el impacto de la inmersión y la erosión en el suelo orgánico de carbono del Humedal el Burro.

   b. Utilizar la metodología establecida para contabilizar estos efectos, teniendo en cuenta la dinámica del humedal y los cambios en la cobertura del suelo.

3. **Monitoreo Continuo:**

   a. Establecer un sistema de monitoreo continuo para seguir las emisiones y absorciones de carbono en el Humedal el Burro a lo largo del tiempo.

b. Realizar ajustes en la metodología según sea necesario a medida que se recopilan más datos y se obtiene una comprensión más detallada de las condiciones del humedal.

4. **Informe Final:**

a. Documentar los resultados de la aplicación de la metodología en un informe final.

b. Incluir detalles sobre el escenario de referencia, las estimaciones de reducciones de emisiones y absorciones, la contabilidad de la inmersión y erosión, y cualquier ajuste realizado durante el monitoreo continuo.

3.1.1.3 Métodos para el monitoreo de las variaciones de las existencias de carbono y desmarque Emisiones y desmarque en las Actividades del Proyecto de Restauración y Conservación de Humedales.

Estos procedimientos para estimar las reducciones de las emisiones del suelo y la absorción generadas por las actividades de proyectos realizados en humedales. También proporciona procedimientos para la contabilidad del efecto de la inmersión y la erosión en la biomasa. Posteriormente se establecen algunas pautas a tener en cuenta para la aplicación de estos métodos en el Humedal el Burro.

1. **Establecimiento de línea Base:**

a. Identificar y mapear las áreas específicas del humedal que serán objeto de restauración y conservación.

b. Realizar un inventario detallado de las existencias de carbono en el suelo y la vegetación antes de iniciar las actividades del proyecto.

c. Documentar las emisiones actuales y potenciales asociadas con la degradación del humedal.

2. **Diseño del Plan de Monitoreo:**

   a. Desarrollar un plan de monitoreo detallado que incluya la frecuencia de las mediciones, las ubicaciones específicas y los indicadores clave de carbono y emisiones.

   b. Incorporar tecnologías y herramientas adecuadas, como muestreo de suelo, análisis de gases, teledetección, etc., para recopilar datos precisos.

3. **Monitoreo de Cambios en las Existencias de Carbono:**

   a. Realizar mediciones periódicas de las existencias de carbono en el suelo y la vegetación en las áreas de intervención del proyecto.

   b. Utilizar técnicas como la cuantificación de biomasa, análisis de suelo y monitoreo de la cobertura vegetal para evaluar cambios en las existencias de carbono.

4. **Monitoreo de Emisiones:**

   a. Implementar sistemas de monitoreo de GEI para medir las emisiones asociadas con las actividades del proyecto.

   b. Registrar las emisiones derivadas de la degradación del suelo, cambios en el uso del suelo y cualquier actividad humana relacionada con el proyecto.

5. **Análisis de Resultados:**

a. Evaluar los datos recopilados para identificar tendencias, cambios significativos en las existencias de carbono y emisiones, y cualquier impacto asociado con las actividades del proyecto.

b. Comparar los resultados con la línea de base establecida para cuantificar el éxito de las intervenciones de restauración y conservación.

6. **Informe de Monitoreo:**

a. Documentar los resultados del monitoreo en informes periódicos.

b. Incluir análisis detallados, gráficos y conclusiones que destaquen los cambios en las existencias de carbono y las emisiones atribuibles a las actividades del proyecto.

7. **Ajuste de Estrategias:**

a. Revisar y ajustar las estrategias de restauración y conservación según los resultados del monitoreo.

b. Identificar oportunidades para mejorar la eficacia del proyecto y reducir aún más las emisiones.

3.1.2 Manejo de la restauración y conservación de la vegetación acuática

La expansión de ciertas plantas acuáticas puede inferir en la conservación y restauración de ecosistema de manera significativa ya que se evidenció un porcentaje bajo de las mismas en la cobertura vegetal de humedal, además las gestiones que se vienen adelantando dan prioridad a otros aspectos que pueden afectar a la regulación de gases de efecto invernadero. Para lograr un desarrollo equilibrado de las zonas de humedal, es esencial que coexistan al menos dos hábitats distintos, considerando

aspectos técnicos específicos:

1. **Superficies de aguas abiertas con vegetación sumergida:** Se aboga por la existencia de áreas de superficies de aguas abiertas sin poblaciones de plantas acuáticas emergentes, priorizando un "espejo de agua despejado". Este enfoque técnico se fundamenta en la importancia de mantener un entorno propicio para biota acuática, proporcionando vegetación sumergida que sirva como recolectora de gases. La ausencia de plantas emergentes contribuye a la preservación de este hábitat específico.
2. **Poblaciones de vegetación palustre en aguas poco profundas:** En áreas poco profundas y a lo largo de las orillas del humedal, se recomienda la presencia de poblaciones de vegetación palustre como zonas de refugio para aves acuáticas. Desde una perspectiva técnica, es crucial considerar las condiciones específicas del humedal, ya que las plantas acuáticas pueden generar biomasa en cantidades significativas. Sin embargo, se destaca la importancia de gestionar este desarrollo vegetativo de manera adecuada, ya que un crecimiento excesivo puede tener repercusiones negativas, especialmente en cuerpos de agua con renovación lenta y altos niveles de nutrientes. Este aspecto técnico resalta la necesidad de estrategias de manejo que equilibren el desarrollo natural con la preservación a largo plazo de los ecosistemas de humedal en el caso de humedal el Burro se pueden identificar varios aspectos necesarios para el manejo de la vegetación acuática:

   Evaluación de la Cobertura Vegetal: Realizar un mapeo detallado de la cobertura vegetal actual del Humedal El Burro, identificando las áreas con bajos porcentajes de plantas acuáticas. Además, es posible evaluar el impacto

de la expansión de ciertas plantas acuáticas en la conservación y restauración del ecosistema.

Priorización de Zonas Estratégicas: Identificar áreas críticas que requieran intervención para mejorar la cobertura vegetal y promover un equilibrio adecuado entre diferentes hábitats. Se debe dar prioridad a zonas con bajo porcentaje de cobertura vegetal y que históricamente hayan sido descuidadas en términos de gestión de plantas acuáticas.

Desarrollo de Hábitats Específicos: Establecer superficies de aguas abiertas con vegetación sumergida, enfocándose en crear "espejos de agua despejados" para mantener un entorno propicio para la biota acuática. Fomentar poblaciones de vegetación palustre en áreas poco profundas y a lo largo de las orillas, proporcionando zonas de refugio para aves acuáticas.

Consideraciones Técnicas: a. Integrar la gestión adecuada del crecimiento vegetativo, asegurando que el desarrollo de plantas acuáticas se alinee con los objetivos de conservación y no genere impactos negativos. También se puede Implementar medidas de monitoreo constante para evaluar el crecimiento y la biomasa de las plantas acuáticas, ajustando las estrategias de manejo según sea necesario.

Gestión Sostenible del Desarrollo Vegetativo: Establecer estrategias de manejo que equilibren el desarrollo natural con la preservación a largo plazo del ecosistema del humedal. Así mismo Implementar prácticas sostenibles para evitar el crecimiento excesivo que pueda tener repercusiones negativas en cuerpos de agua con renovación lenta y altos niveles de nutrientes.

3.2 Estrategias de Evaluación y Monitoreo

Las estrategias de evaluación y monitoreo en humedales son de vital importancia ya que son las que nos brindan la línea base de cómo está el humedal a nivel general y nos brinda la información necesaria para tomar acciones frente a las posibles problemáticas que se evidencian en cuanto a la captación de GEI y su rendimiento.

Para poder plantear estrategias de evaluación y monitoreo que ayuden a la regulación de GEI en el Humedal el Burro se analizaron distintas metodologías utilizadas en otros ecosistemas que pueden ayudar de manera directa e indirecta a medir el rendimiento de humedal en este aspecto y así por medio de estas se puedan tomar decisiones frente a su gestión integral. A continuación, se muestran algunas de las metodologías que se pueden aplicar en el humedal con este fin:

3.2.1 Metodología estandarizada para la evaluación de humedales a nivel de sitio.

Esta metodología proporciona datos normalizados que guían todas las acciones requeridas en la evaluación de humedales. También detalla los métodos de análisis e interpretación de imágenes, necesarios para la creación de polígonos y la elaboración de la base cartográfica esencial en el proceso de evaluación de humedales.

Además, se centra en detallar las principales estrategias para recopilar y analizar información relacionada con aspectos morfológicos y funcionales fundamentales de los humedales, considerando cuatro criterios específicos: agua, vegetación de humedales, suelos hidromórficos y aspectos socioambientales. Este enfoque busca validar en el terreno los resultados obtenidos durante el proceso de análisis de

imágenes y cartografía, permitiendo así la elaboración de un diagnóstico integral de la condición general del humedal. De los cuatro criterios mencionados, los tres primeros destacan como características distintivas propias de los humedales.

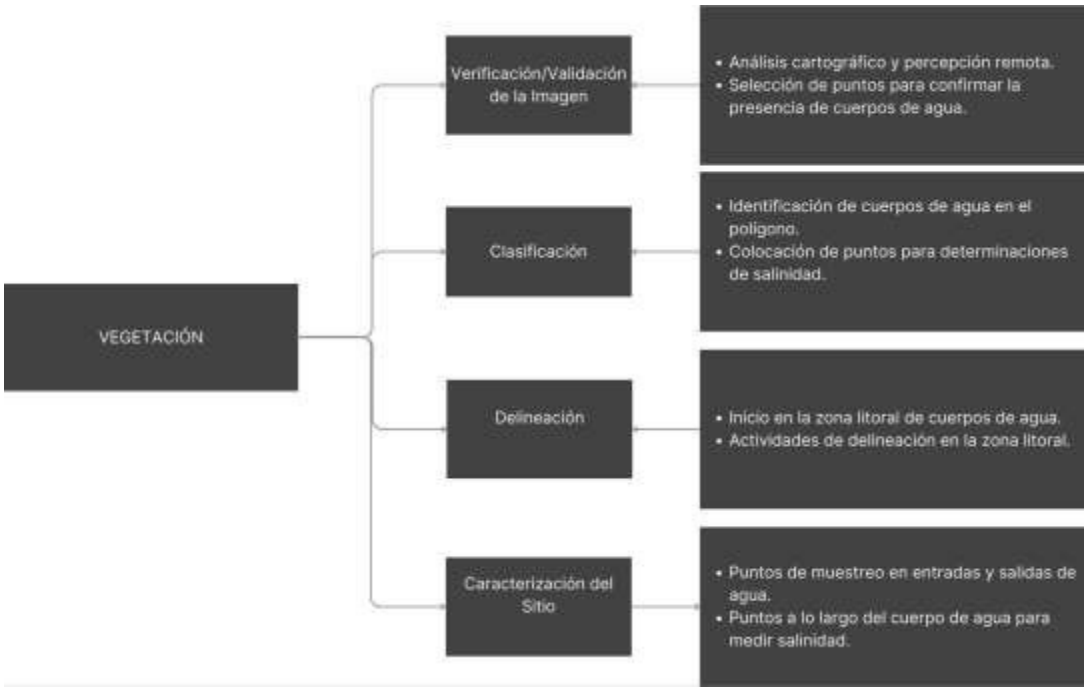
En cuanto al cuarto criterio, aspectos socioambientales, su finalidad radica en la identificación de los servicios eco sistémico proporcionado por el humedal, los cuales son directamente aprovechados por las comunidades locales y regionales. Tras la ubicación del humedal a evaluar en la cuenca hidrográfica, se lleva a cabo la agrupación en unidades geográficas más pequeñas a nivel de subcuenta o microcuenca. Este paso permite obtener información detallada a una escala más refinada. A partir del polígono del sitio de estudio, se identifican los rasgos funcionales del humedal, siguiendo los tres criterios temáticos distintivos: Agua, Vegetación y Suelos.

El análisis detallado de estos criterios temáticos contribuye a una comprensión más completa de la dinámica y la salud del humedal. Al considerar las interrelaciones entre agua, vegetación y suelos, se obtiene una visión más holística de los procesos ecológicos que sustentan la funcionalidad del humedal. A continuación, se detalla cada aspecto por separado.

Agua

El agua es uno de los factores claves en la gestión del humedal ya que proporciona el medio por el cual las plantas acuáticas sobreviven y se alimentan. Dado la vitalidad de este proceso para la retención de GEI se planteó los siguientes parámetros que se evidencian en la *Figura 8.*

Figura 8. Metodología estandarizada para la evaluación del recurso agua.



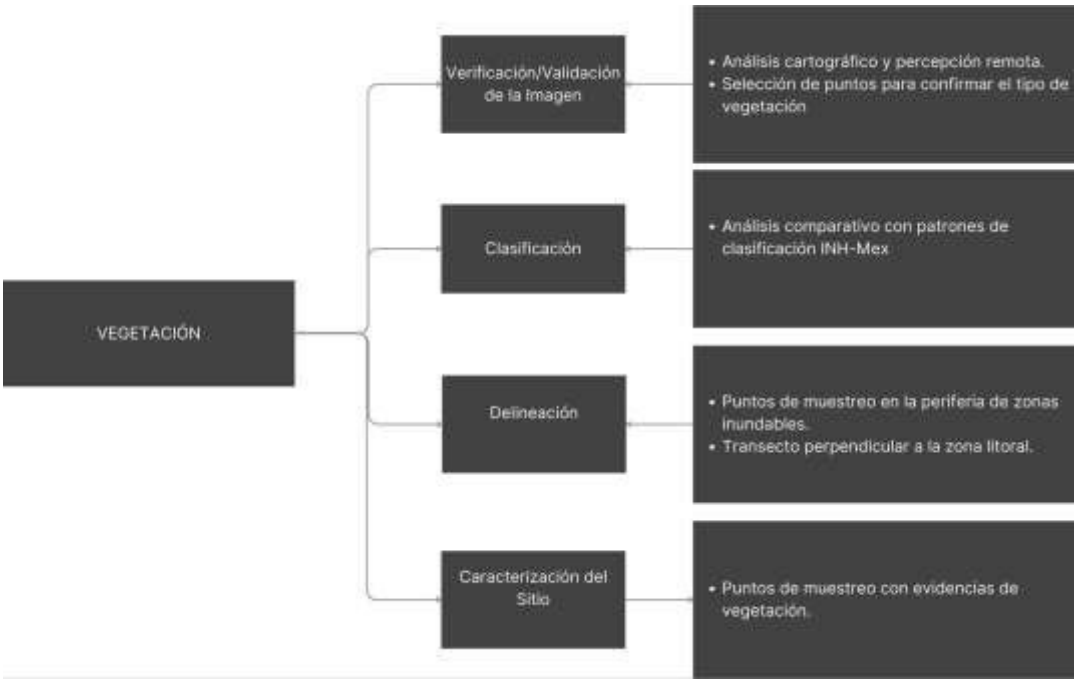
Fuente Elaboración Propia

Vegetación

En cuanto a la vegetación hacemos énfasis en la evaluación de aquellas especies mencionadas dentro de humedal que proporcionan un alto nivel de retención de biomasa aérea y biomasa vegetal por lo cual los factores relevantes como se muestra en la *Figura 9* van enfocados en cierto tipo de población vegetal.

Al considerar estos aspectos, se obtendrá una comprensión más completa de la contribución de la vegetación a la retención de biomasa en el Humedal El Burro, permitiendo la implementación de estrategias específicas para fortalecer y conservar este componente vital del ecosistema.

Figura 9. Metodología estandarizada para la evaluación de la vegetación.



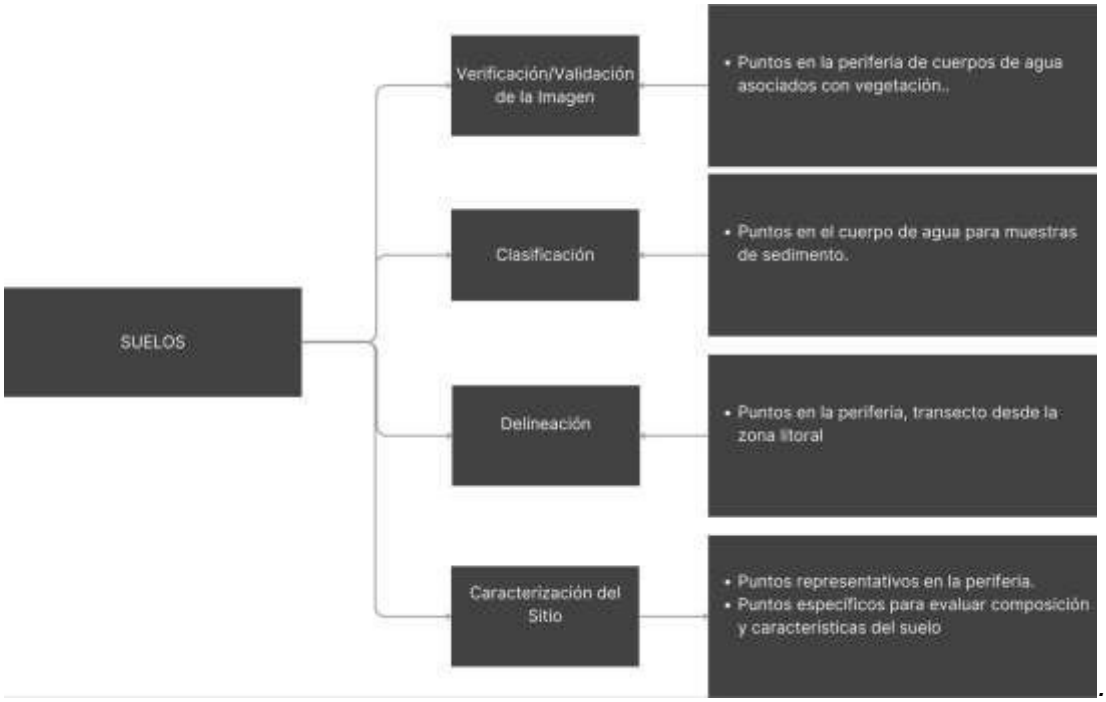
Fuente Elaboración Propia

Suelos

Al abordar estos aspectos desde un enfoque técnico, se establecerá una base sólida para comprender la dinámica del recurso del suelo en el Humedal El Burro y permitirá la implementación de estrategias específicas para potenciar su capacidad como regulador de gases de efecto invernadero.

El recurso de los suelos es fundamental ya que gracias a su característica húmeda es la facultad por la cual se vuelve idóneo para la retención de gases por ello se debe evaluar los siguientes aspectos:

Figura 10. Metodología estandarizada para la evaluación del recurso suelo.



Fuente Elaboración Propia

3.2.1 Metodología de Evaluaciones Biológicas Rápidas

La metodología de Evaluación Biológica Rápida tiene como objetivo obtener una descripción general de la diversidad biológica presente en los humedales, identificando las principales amenazas actuales y futuras para la biota, que incluye tanto la flora (vegetación) como la fauna. El fin es proporcionar insumos que permitan establecer pautas para la identificación y caracterización de humedales, al mismo tiempo que ofrece información valiosa para evaluar opciones en los procesos de toma de decisiones destinados a gestionar la vegetación que desempeña un papel crucial en la retención de gases de efecto invernadero.

Los resultados generales para los componentes flora-vegetación, fauna, así como los de uso de recursos aplicables a los componentes anteriores, se presentan a continuación.

Vegetación y flora

La metodología incluirá la elaboración de perfiles de vegetación para cada comunidad estudiada, ofreciendo un análisis detallado de sus características y composición. Se examinará la distribución de formas de vida en cada comunidad, destacando la presencia de macrófitas, bosques inundables, lianas, epífitas, palmas, árboles, entre otras, con el objetivo de comprender la diversidad y complejidad del ecosistema. Adicionalmente, se llevará a cabo una caracterización geomorfológica preliminar, proporcionando consideraciones generales sobre el funcionamiento hidrológico y ecológico de cada comunidad. Este enfoque permitirá comprender mejor la interacción entre la vegetación y el entorno físico.

Se identificarán perturbaciones y usos específicos de la flora en el área de estudio, destacando cualquier actividad humana que pueda afectar la salud y el equilibrio del ecosistema vegetal. Se realizará un registro fotográfico detallado, capturando las características más destacadas de la vegetación para respaldar y complementar los datos recopilados y finalmente, se elaborará un listado exhaustivo de las comunidades vegetales presentes en el área de estudio, proporcionando una visión completa de la diversidad y distribución de la vegetación en el entorno de los humedales evaluados.

Uso de los recursos naturales

Durante el proceso de Evaluación Biológica Rápida, se llevará a cabo la identificación específica de aquellas especies que tienen relevancia económica o son fundamentales para la subsistencia de las comunidades locales. Esto incluirá especies derivadas de actividades como la pesca artesanal, pesca industrial, pesca

de subsistencia, cacería de subsistencia, así como aquellas utilizadas como mascotas u otros fines económicos. Este análisis proporcionará información valiosa sobre la interacción humana con el ecosistema y su dependencia de determinadas especies. Asimismo, se procederá a la identificación detallada de especies cruciales para planes de conservación, destacando aquellas que son migratorias, se encuentran amenazadas o en peligro. También se incluirán aquellas especies relevantes para el uso sostenible de los humedales. Este enfoque permitirá integrar consideraciones clave de conservación en la evaluación, reconociendo la importancia de preservar especies críticas para la salud y el equilibrio del ecosistema.

3.3 Estrategias de Educación y concienciación

La educación y la concienciación son clave para involucrar a la comunidad en la protección de los Humedal el Burro. Los programas educativos y las campañas de sensibilización pueden fomentar una mayor apreciación de estos ecosistemas y promover prácticas sostenibles donde se empiece a visibilizar la importancia d e estos ecosistemas en la lucha contra el cambio climático. Involucrar a las comunidades locales y a las partes interesadas en la gestión de los humedales es fundamental. Esto puede incluir la consulta y la colaboración en la toma de decisiones y la implementación de medidas de conservación.

Como se evidencia en la *Figura 11* en el Humedal El Burro actualmente se ven varios proyectos de educación ambiental los cuales están siendo implementados para las instituciones educativas alrededor de humedal, estos proyectos hacen parte de la línea de acción de los PROCEDA (Procesos Comunitarios de Educación Ambiental)

los cuales vienen siendo implementados en la localidad de Kennedy de manera regular.

Figura 11. Implementación de Procesos Comunitarios de Educación Ambiental en el Humedal el Burro 2023



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran algunas herramientas y estrategias que pueden ayudar a fortalecer los procesos de educación dentro del humedal y así mismo enfocar sus lineamientos en la comprensión de la importancia de El Humedal el Burro en la disminución y regulación de gases de efecto invernadero.

3.3.1 Herramientas de Sensibilización socio ambiental para la conservación y el uso sostenible de los humedales enfocado en la regulación de gases de efecto invernadero.

Un ejemplo evidente de la presencia de diversas herramientas de educación ambiental se encuentra en el proyecto denominado "Conservación, uso sostenible de la biodiversidad y mantenimiento de los servicios de los ecosistemas de humedales

protegidos de importancia internacional," más conocido como el "Proyecto Humedales." Específicamente, este proyecto incluye herramientas lúdicas como parte integral de los Planes de Gestión Local para los sitios Ramsar prioritarios. Estas herramientas lúdicas fueron diseñadas con el propósito de contribuir al proceso de sensibilización dirigido a distintos grupos poblacionales, enfocándose en destacar la importancia de preservar y utilizar de manera sostenible los bienes y servicios generados por los humedales. A continuación, se presentan las herramientas propuestas en este proyecto, las cuales pueden ser implementadas en el Humedal el Burro para fortalecer los procesos educativos, centrándose especialmente en la regulación de gases de efecto invernadero

Se utilizó como primera estrategia lúdica un libro para colorear dirigido a niños. Se parte de la premisa de que la educación formal durante los primeros años de vida complementa la enseñanza que los niños reciben en sus hogares. Esta fase inicial resulta esencial para establecer hábitos, fomentar actitudes, comportamientos y valores que, en conjunto, contribuyen al desarrollo integral de los individuos. Durante la etapa de la primera infancia, se presenta la oportunidad ideal para concienciar a los niños sobre la importancia de respetar, valorar y cuidar el medio ambiente. Si desde temprana edad se instaura un estilo de vida responsable con la naturaleza, es muy probable que esta relación armoniosa con el entorno perdure en la vida adulta.

La segunda estrategia lúdica se basa en el uso del "Manual de metodologías participativas para el trabajo con grupos," un recurso diseñado para facilitar la aplicación práctica de la educación ambiental. Este manual está estructurado en tres capítulos, cada uno abordando de manera concisa y comprensible temas relacionados con los ecosistemas de humedal. En el primer capítulo, se guía a los

grupos en la comprensión del concepto, las características y la tipología de los humedales. En el segundo capítulo, se profundiza en las funciones y la importancia de estos ecosistemas. Por último, en el tercer y último capítulo, se brinda información sobre situaciones sociales, institucionales y ambientales que contribuyen y agravan el deterioro de los humedales y sus servicios ecosistémicos.

En cuanto a Memoria, esta representa la tercera herramienta lúdica desarrollada en el contexto de los Planes de Gestión Local de los sitios Ramsar priorizados. Dada la significativa función de los humedales como ecosistemas fundamentales para la vida, gracias a los bienes y servicios que proporcionan a la población humana, y considerando que estos lugares albergan una gran cantidad y diversidad de especies, se decidió crear un juego de memoria y asociación enfocado en la fauna asociada a los humedales. A pesar de la vital importancia de estos espacios naturales, su continuo deterioro sigue afectando, de manera directa o indirecta, la existencia, permanencia, abundancia y bienestar de estas especies.

3.4 Evaluación de la viabilidad y efectividad

El Humedal El Burro, no solo representa un tesoro ecológico sino también un compromiso con la preservación de la biodiversidad y la sostenibilidad ambiental. Ante los desafíos medioambientales que enfrenta este ecosistema invaluable, se propone un ambicioso proyecto de restauración y conservación con la finalidad de mejorar el bienestar del humedal y su potencial para capturar gases de efecto invernadero. La viabilidad financiera de esta iniciativa no solo se traduce en números, sino en el firme propósito de salvaguardar un hábitat único y vital para el equilibrio ambiental.

Este proyecto pretende crear un modelo de gestión sostenible que pueda ser replicado en otras áreas con el mismo potencial. La importancia de su viabilidad financiera radica en su capacidad para fusionar la conservación del medio ambiente con un enfoque económicamente sostenible, asegurando así la continuidad y efectividad a largo plazo.

En las siguientes secciones, explicaremos los diversos aspectos que conforman la viabilidad financiera de este proyecto. Desde la identificación de costos y gastos hasta la planificación estratégica de la inversión inicial, examinaremos cómo la convergencia de recursos financieros y ambientales puede conducir no solo a la recuperación del Humedal El Burro, sino también a un legado de responsabilidad ambiental y prosperidad sostenible.

3.4.1 Presupuesto de medidas

El presupuesto total de estas actividades dependerá de las cantidades, especificaciones y áreas correspondientes a intervenir, de acuerdo con la evaluación técnica que se realice, así mismo dependerá de la viabilidad de recursos, la respectiva gestión jurídica y la gestión interinstitucional, en las diferentes etapas en las que se plantee ejecutar. A continuación se brindan los rubros establecidos para cada estrategia teniendo en cuenta cifras proporcionadas por los proyectos actuales de PMA del Humedal el Burro:

Tabla 6. Presupuesto de medidas para el proyecto

MEDIDA	COSTO PROMEDIO	% Participación	Ponderado
Implementación de Metodologías bajo el Estándar VCS	$ 130.000.000,00	90%	$ 117.000.000,00
Manejo de la restauración y conservación de la vegetación acuática	$ 210.000.000,00	60%	$ 126.000.000,00
Metodología estandarizada para la evaluación de humedales a nivel de sitio	$ 150.000.000,00	40%	$ 60.000.000,00
Metodología de Evaluaciones Biológicas Rápidas	$ 200.000.000,00	30%	$ 60.000.000,00
Herramientas de Sensibilización socioambiental para la conservación y el uso sostenible de los humedales enfocado en la regulación de gases de efecto invernadero	$ 120.000.000,00	30%	$ 36.000.000,00
Total, ponderado para calculo presupuestal			**$ 399.000.000,00**

Fuente: Elaboración Propia

Se consideraron precios de Construdata (2022) y bases de precios del IDU e IDRD (2023). La financiación del presente proyecto debe estar articulada a los proyectos de inversión de las próximas administraciones. Para el cálculo de los costos es importante tener en cuenta el incremento del I.P.C. anual.

3.4.2 Inversión inicial

La financiación del presente proyecto debe estar articulada a los proyectos de inversión de las próximas administraciones. Para el cálculo de los costos es importante tener en cuenta el incremento del I.P.C. anual.

Tabla 7. Inversión inicial

Descripción	Unidad		CVU	Inversión inicial
Estudios Iniciales	Un.	1	$ 70.000.000	$ 70.000.000,00
Diseño del Proyecto	Un.	1	$ 40.000.000	$ 40.000.000,00
Permisos y Trámites	Un.	1	$ 28.000.000	$ 28.000.000,00
Contratación de Mano de obra	Un.	1	$ 46.000.000	$ 46.000.000,00
Adquisición de Equipamiento y Materiales Iniciales	Un.	1	$ 30.000.000	$ 30.000.000,00
Infraestructura Básica	Un.	1	$ 20.000.000	$ 20.000.000,00

Educación y Capacitación Inicial	Un.	1	$ 10.000.000	$ 10.000.000,00
Publicidad y Sensibilización Inicial	Un.	1	$ 10.000.000	$ 10.000.000,00
Gastos Legales Iniciales	Un.	1	$ 30.000.000	$ 30.000.000,00
Tecnología y Sistemas de Monitoreo Inicial	Un.	1	$ 50.000.000	$ 50.000.000,00
Reserva para Contingencias	Un.	1	$ 20.000.000	$ 20.000.000,00
Total				**$354.000.000,00**

Fuente: Elaboración Propia

3.4.3 Talento Humano

En cualquier proyecto de restauración y conservación yace el factor humano, un recurso invaluable que proporciona la línea base a las visiones ambientales y sostenibles que se requieren para la ejecución. Al abordar la viabilidad financiera del proyecto de gestión integral del Humedal, es esencial reconocer el papel crucial del talento humano. Más que simplemente un costo, el capital humano se convierte en el motor que impulsa la realización de cada paso, desde la investigación hasta la ejecución, y finalmente, en el mantenimiento a largo plazo.

Este proyecto no solo requiere la inversión en conocimientos especializados, sino también en la pasión y dedicación de aquellos comprometidos con la preservación del medio ambiente. La planificación financiera debe, por ende, no solo considerar salarios y compensaciones, sino también estrategias para el desarrollo y retención del talento, creando un equipo comprometido que trascienda los límites de lo meramente laboral.

Desde la identificación de roles y responsabilidades hasta la estimación de costos asociados con la contratación, esta aproximación busca no solo preservar la riqueza natural del humedal sino también nutrir y empoderar a aquellos recursos indispensables para la retención de GEI que están detrás de su resurgimiento.

Tabla 8. Salario anual talento humano

Cargo	Cantidad	Salario Anual
Biólogo Especializado en Ecología Acuática y Terrestre	2	$ 76.800.000,00
Administrador Ambiental	1	$ 28.200.000,00
Especialistas en Suelos	1	$ 33.600.000,00
Ingeniero Ambiental	1	$ 28.200.000,00
Educador Ambiental	1	$ 17.400.000,00
Coordinador de Proyectos	1	$ 42.000.000,00
Especialistas en el area de tramites legales	1	$ 27.600.000,00
Personal Administrativo y de Oficina	2	$ 36.000.000,00
Trabajadores de campo(no especializados)	3	$ 41.400.000,00
Total	**13**	**$ 331.200.000,00**

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4 Gastos

Los gastos, representando las erogaciones concretas asociadas a actividades específicas. La claridad en su comprensión no solo optimiza la asignación de recursos, sino que también establece las bases para una gestión financiera eficiente y transparente.

Tabla 9. Gastos estimados de Proyecto

Descripción	Un	total gasto
Adquisición de equipos y materiales para estudios de campo	1	$ 18.000.000,00
Compra de equipos y maquinaria especializada	1	$ 21.600.000,00
Mantenimiento y calibración de equipos de monitoreo	3	$ 15.600.000,00
Alquiler y servicios públicos	1	$ 24.000.000,00
Suministros básicos de oficina	1	$ 9.600.000,00
Salario personal administrativo	3	$ 64.800.000,00
Organización de talleres	1	$ 24.000.000,00
Impresión de material educativo	1	$ 3.600.000,00
Logística para programas de capacitación	1	$ 24.000.000,00
Pagos asociados con la obtención de permisos	1	$ 14.400.000,00
Gastos continuos para el mantenimiento del humedal	1	$ 24.000.000,00
TOTAL GASTOS		**$ 243.600.000,00**

Fuente: Elaboración Propia

3.4.5 Costos

Los costos, abarcando los recursos involucrados de manera más amplia, se entrelazan para trazar la hoja de ruta financiera del proyecto. Estos costos asociados a los equipos y materiales requeridos para las labores de monitoreo, serán definidos por la Subdirección de Ecosistemas y Ruralidad de la SDA con base en la definición de presupuestos anuales.

Tabla 10 .Costos estimados de proyecto.

Descripción	Un	CVU
Materia primas naturales (grava,arena,madera)	1	$ 24.000.000,00
Materiales absorbentes, gestión de derrames	1	$ 24.000.000,00
Barreras naturales, control de erosión	1	$ 24.000.000,00
Plantas acuáticas y vegetación nativa	1	$ 1.200.000,00
Equipos de monitoreo ambiental	1	$ 48.000.000,00
Herramientas para siembra y mantenimiento	1	$ 24.000.000,00
Mano de obra	12	$ 27.600.000,00
sistemas de monitoreo a largo plazo	2	$ 36.000.000,00

Fuente: Elaboración Propia

Como se evidencia en la *Tabla 10* el costo estimado que más valor representa es el equipo de monitoreo ambiental con un valor de 48 millones de pesos, los sistemas de monitoreo seguido de la mano de obra también representan cifra importante, con esto se pone en evidencia la necesidad de destinar recursos para estas actividades con mayor prioridad que el resto de los costos esto sin escatimar su importancia.

3.4.6 Resumen indicadores de viabilidad

Para hacer un resumen de los datos financieros proporcionados anteriormente y a su vez hacer una lectura analítica de la viabilidad del proyecto, se trabajaron los siguientes indicadores:

3.4.6.1 Flujo de caja

El análisis se basará en una proyección estimada de los flujos de caja que generaría el proyecto en los próximos años si se llevara a cabo. A continuación, presentaré los flujos de caja proyectados y procederé a calcular los indicadores mencionados.

Tabla 11 .Flujo de caja

	0	1	2	3	4
Total Ingresos	$753.000.000,00	$436.027.200,00	$476.490.524,16	$520.708.844,80	$569.030.625,60
Total Costos	$ 243.600.000,00	$ 252.856.800,00	$ 262.465.358,40	$ 272.439.042,02	$ 282.791.725,62
Total Gastos	$ 208.800.000,00	$ 220.727.760,00	$ 233.400.117,17	$ 246.867.123,54	$ 261.182.418,77
TOTAL F. CAJA	**$ 300.600.000,00**	**-$ 37.557.360,00**	**-$ 19.374.951,41**	**$ 1.402.679,24**	**$ 25.056.481,21**
	452.400.000	473.584.560	495.865.476	519.306.166	543.974.144

Fuente: Elaboración Propia

Se muestran las proyecciones de flujo de caja en los primeros 5 años del proyecto con la premisa de que los años siguientes manejan el mismo incide el cual es de 9% según el IPC para el 2023, en este cuadro se refleja una viabilidad moderada ya que los costos y gastos no superan los ingresos del proyecto.

3.4.6.2 VPN - VAN - VNA

El VPN, al calcular la diferencia entre los flujos de efectivo entrantes y salientes, ajustados al valor presente, proporciona una medida precisa de la rentabilidad del proyecto. Por otro lado, el VAN, al tener en cuenta la tasa de descuento, ofrece una perspectiva sobre la creación de valor y la toma de decisiones de inversión. Complementando ambos,

En la sección siguiente, se evidencio su aplicación específica en el proyecto del Humedal El Burro. Al comprender cómo estos indicadores reflejan la solidez financiera y el rendimiento a largo plazo, podemos tomar decisiones informadas para garantizar la sostenibilidad económica de la iniciativa de conservación y restauración.

Tabla 12 .VPN - VAN - VNA

	0	1	2	3	4
k (Cap In + Fin)	$ 354.000.000,00				
Flujo de caja	$ 300.600.000,00	-$ 37.557.360,00	-$ 19.374.951,41	$ 1.402.679,24	$ 25.056.481,21
T.I.O.	12,00%				
VPN - VNA	**1.150.522.891**				

Fuente: Elaboración Propia

El Valor Actual Neto (VAN) refleja un resultado de $1.150.522.891. Esto indica que el proyecto es viable financieramente, dado que el VAN es positivo, el VNA extiende el análisis a lo largo del tiempo, considerando la variabilidad de la tasa de descuento y brindando una evaluación más dinámica del proyecto.

3.4.6.3 TIR

La aplicación de la Tasa Interna de Retorno (TIR) en el proyecto de restauración y conservación del Humedal El Burro en Bogotá no solo permite evaluar la rentabilidad económica interna de la iniciativa, sino que también arroja luz sobre la eficacia de las inversiones destinadas a recuperar y preservar este ecosistema acuático único. Al considerar la compleja interacción entre los aspectos financieros y ambientales del proyecto, la TIR se convierte en una herramienta esencial para medir el rendimiento económico a lo largo del tiempo, contribuyendo así a la toma de decisiones estratégicas y sostenibles. Esta perspectiva financiera no solo resalta la importancia económica del proyecto, sino que también respalda la necesidad de garantizar la viabilidad a largo plazo del Humedal El Burro como un activo ambiental valioso para la ciudad de Bogotá y sus habitantes**.**

Tabla 13. TIR Ajustada.

	0	1	2	3	4
K + FCL	-$ 354.000.000,00	$ 300.600.000,00	-$ 37.557.360,00	-$ 19.374.951,41	$ 1.402.679,24
Depreciación		$ 3.200.000,00	$ 3.200.000,00	$ 3.200.000,00	$ 3.200.000,00
Total Ajustado	-$ 354.000.000,00	$ 297.400.000,00	-$ 40.757.360,00	-$ 22.574.951,41	-$ 1.797.320,76
TIR	14,98%				

Fuente: Elaboración Propia

La Tasa Interna de Retorno (TIR) resultó en 16%, la TIR que se evidencia en *la Tabla 13* es la ajustada lo cual significa que si se tiene en cuenta las depreciaciones esta queda en un 14,9 es decir 15% lo cual genera que la tasa de descuento quede igual al Valor Actual Neto (VAN) del 0,50%. Esto es una cifra considerable si la comparamos con el costo de capital típico de un proyecto, que usualmente se encuentra entre el 8% y 15%. Una TIR de estas características indica buena rentabilidad.

3.4.6.4 PAYBACK

En el contexto del proyecto de restauración y conservación del Humedal El Burro, el Payback se presenta como un faro que guía la toma de decisiones, proporcionando una visión tangible sobre cuándo se alcanzarán los umbrales de rentabilidad y cómo la inversión comenzará a generar retornos tangibles.

A través de un análisis detallado del indicador de Payback, exploramos los plazos esperados para la recuperación de la inversión, destacando su relevancia en la evaluación de la viabilidad financiera del proyecto. Al entender cuándo se recuperarán los recursos financieros invertidos, podemos tomar decisiones informadas sobre la sostenibilidad a largo plazo y la efectividad de las acciones implementadas en la restauración del Humedal El Burro.

Tabla 14. PAYBACK

n	K	FC - AJ	PR
0	-354.000.000		
1		$ 297.400.000,00	-$ 56.600.000,00
2		-$ 40.757.360,00	-$ 97.357.360,00
3		-$ 22.574.951,41	-$ 119.932.311,41
4		-$ 1.797.320,76	-$ 121.729.632,16
5		$ 21.856.481,21	-$ 99.873.150,95

6		$ 48.695.354,11	-$ 51.177.796,84
7		$ 79.058.834,85	$ 27.881.038,01
8		$ 113.320.038,81	$ 141.201.076,82
9		$ 151.888.879,06	$ 293.089.955,88

Fuente: Elaboración Propia

El Payback descontado indica en cuántos años se recupera la inversión inicial, tomando en cuenta el valor temporal podemos evidenciar que para el año 7 se ha recuperado el total de la inversión inicial.

3.4.7 Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad es una herramienta que nos permite evaluar cómo cambios en ciertas variables clave pueden impactar la rentabilidad de un proyecto. Al modificar valores como costos, precios o volúmenes de venta, y observar su efecto en indicadores como el VAN o TIR, podemos entender mejor los riesgos y la solidez del negocio. En nuestro caso, aplicaremos el análisis de sensibilidad al proyecto en el humedal para entender su viabilidad financiera ante distintos escenarios, tanto optimistas como pesimistas. Esto nos permitirá tomar mejores decisiones sobre la conveniencia de llevar a cabo esta iniciativa.

Se utilizó el análisis de sensibilidad con el fin de evaluar cómo varía el resultado financiero en respuesta a cambios en determinadas variables clave, como los ingresos y los costos. En este caso, estás explorando cómo cambia el rendimiento financiero cuando los ingresos disminuyen en un rango del 0.5% al -4%, y los costos aumentan desde 0.5% hasta el 4.5%.

Tabla 15.Analisis de Sensibilidad

	VAN	Reducción en Ingresos				
	$ 1.092.785.381	**-0,50%**	**-1,00%**	**-1,50%**	**-2,00%**	**-2,50%**
Aumento en costos	**0,50%**	$ 1.890.997.762	$ 1.061.841.498	$ 874.286.112	$ 870.135.855	$ 839.191.972
	1,00%	$ 1.065.991.754	$ 1.035.047.871	$ 874.286.112	$ 815.476.857	$ 812.398.345
	1,50%	$ 1.039.198.128	$ 1.008.254.245	$ 847.492.485	$ 816.548.602	$ 785.604.719
	2,00%	$ 1.012.404.501	$ 981.460.618	$ 1.030.897.615	$ 999.953.732	$ 969.009.848
	2,50%	$ 985.610.875	$ 954.666.991	$ 1.004.103.988	$ 973.160.105	$ 942.216.222
	3,00%	$ 931.219.813	$ 1.008.254.245	$ 977.310.362	$ 919.170.947	$ 915.422.595
	3,50%	$ 932.023.621	$ 981.460.618	$ 950.516.735	$ 919.572.852	$ 888.628.969
	4,00%	$ 905.229.995	$ 954.666.991	$ 977.310.362	$ 892.779.225	$ 861.835.342
	4,50%	$ 878.436.368	$ 927.873.365	$ 896.929.482	$ 865.985.599	$ 835.041.715

Fuente: Elaboración Propia

Según el análisis de sensibilidad entramos analizar el rendimiento de los costos y los gastos con las variables descritas anteriormente podemos evidenciar en la *Tabla 15* que para un aumento en los costos del 4,5% y una disminución de los gastos en un -2.5%se puede reflejar un valor de $835.041.715 Este resultado, comparado con el valor inicial de $1.092.785.381, indica una disminución significativa en el rendimiento financiero del proyecto, el porcentaje de reducción es aproximadamente del 23.58% lo cual serian alrededor de 257 millones de pesos. Esto indica la disminución porcentual en el rendimiento financiero del proyecto en comparación con su valor inicial, dado el escenario de aumento en los costos y disminución en los gastos según el análisis de sensibilidad. Este hallazgo resalta la sensibilidad del proyecto a cambios adversos en las variables de costos y gastos.

Conclusiones

Para llegar a la conclusión general de este estudio sobre la viabilidad técnica y financiera de la gestión integral de Humedal el Burro como regulador de efecto invernadero se debe tener en cuenta los resultados obtenidos en cada objetivo planteado donde se identificaron los siguientes aspectos.

En cuanto al objetivo 1 se pudo evidenciar que el muestreo documental realizado en el Humedal el Burro ha proporcionado una visión integral de la cobertura vegetal y la biomasa presente en este ecosistema. Se ha destacado la importancia de las macrófitas acuáticas, especialmente las praderas flotantes, juncos y eneas, en la acumulación de biomasa y la retención de carbono. A pesar de la baja diversidad vegetativa actual en el Humedal el Burro, se ha identificado que ciertas especies, como Phragmites australis, Typha spp. y Schoenoplectus spp, presentan condiciones óptimas para retener biomasa aérea y terrestre, con fracciones de carbono en el rango del 37.44% al 53.81%. Estos resultados son coherentes con los estándares establecidos por el IPCC para el factor de carbono en humedales.

El análisis de la distribución fisonómica del humedal revela que, a pesar de ocupar sólo un 3% del área total, esta cobertura vegetal tiene un papel significativo en la captura de gases de efecto invernadero, con un almacenamiento aproximado de 2,23216 kg C/ha. Aunque este valor puede considerarse relativamente bajo, la formación de turba debajo de la biomasa aérea y la consolidación de la vegetación contribuyen al secuestro de carbono y al ciclo del carbono en el humedal. En futuras gestiones del ecosistema, se sugiere realizar estudios más detallados para validar mejorar la comprensión de la capacidad del humedal para retener GEI y la eficiencia de sus especies bióticas en la acumulación de biomasa.

En cuanto al análisis de suelos y la estimación de los factores ambientales relevantes y sus características se puede ver que el análisis detallado del humedal El Burro aborda aspectos fundamentales para comprender su dinámica ecológica. El contenido de carbono orgánico en los suelos, especialmente en zonas de inundación, destaca la importancia de evaluar la capacidad de almacenamiento de carbono. La presencia de condiciones anaeróbicas en suelos hídricos, propiciadas por el desplazamiento del agua, influye en procesos biogeoquímicos como la acumulación de materia orgánica.

La clasificación de los suelos del humedal según las características redoximórficas y la identificación de formaciones geológicas como Sabana, Qsa1 y Qsa2 proporcionan un marco geotécnico esencial. La relación inversa entre la densidad del suelo y el contenido de materia orgánica destaca la importancia de la aireación para el crecimiento de raíces y la infiltración del agua.

En cuanto a los factores ambientales, el clima emerge como un componente crucial. El análisis de temperatura y precipitación revela variaciones estacionales significativas que pueden afectar la regulación de gases de efecto invernadero. La influencia del fenómeno de La Niña en la precipitación y la relación entre humedad relativa y captación de gases subraya la complejidad de los factores climáticos en el humedal. El aumento gradual de la temperatura, aunque actualmente apto para las especies bióticas, plantea preocupaciones sobre cambios futuros y su impacto en la humedad del ecosistema. La variabilidad en la humedad relativa, con un incremento exponencial favorable para la retención de gases de efecto invernadero, destaca la importancia de monitorear estos elementos en el contexto del cambio climático.

El objetivo 2 está marcado por el diagnóstico ambiental presentado sobre el Humedal

el Burro, en este se puede concluir que el ecosistema enfrenta diversas problemáticas que comprometen su bienestar y su capacidad natural de retención de gases de efecto invernadero. Las principales preocupaciones se centran en la fragmentación del humedal debido a la construcción de la Avenida Ciudad de Cali, la contaminación del agua y la presencia de especies invasoras. La fragmentación del humedal por la mencionada avenida ha generado dificultades en la comunicación hídrica entre las dos partes del ecosistema, lo que no solo afecta la conectividad del humedal, sino que también contribuye al aumento de la contaminación atmosférica debido al tráfico vehicular intenso. Esta situación compromete la calidad del aire en las cercanías del humedal y representa riesgos para la emisión de contaminantes atmosféricos, afectando la salud general del ecosistema.

La contaminación del agua, causada por vertimientos de aguas residuales con presencia de residuos de metales pesados, desechos sólidos y sedimentos, ha llevado al humedal a un estado crítico desde el punto de vista bacteriológico. Esta problemática amenaza la vegetación acuática y la capacidad del humedal para absorber gases de efecto invernadero, generando consecuencias irreversibles para el ecosistema. Se destaca la presencia de especies bacterianas patógenas para los humanos, lo que subraya la urgencia de abordar y remediar los impactos negativos causados por los vertimientos no autorizados.

La introducción de especies invasoras, como el retamo espinoso, plantea desafíos significativos para el equilibrio ecológico del humedal. Aunque algunas de estas especies pueden ofrecer refugio a ciertas aves, también representan riesgos para otras especies vegetativas al afectar su capacidad para retener gases de efecto invernadero. La presencia y propagación de estas especies exigen estrategias

técnicas específicas para su control y gestión, con el objetivo de mitigar sus efectos negativos en la biodiversidad y en los procesos naturales del humedal.

El análisis comparativo de estas problemáticas muestra que la contaminación del agua tiene el mayor grado de impacto en la afectación del humedal para retener gases de efecto invernadero, seguida de cerca por la fragmentación del humedal. Las especies invasoras, aunque relevantes, presentan un impacto moderado en comparación con las otras dos problemáticas.

En cuanto a las mediciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB), se observa que la calidad del aire en las localidades cercanas al humedal, como Fontibón y Kennedy, se ve afectada por diversas emisiones contaminantes, especialmente en lo que respecta al ozono (O3). Se destaca la necesidad de abordar fuentes específicas de emisión en estas zonas para mejorar la calidad del aire.

El análisis histórico de las emisiones de GEIen la estación de Kennedy muestra concentraciones significativas, siendo el dióxido de nitrógeno (NO2) el gas con las emisiones más significativas. Aunque las concentraciones se han mantenido dentro de los límites permitidos, se señala la importancia de mejorar la cobertura de datos para una evaluación más precisa de las emisiones en la zona del humedal.

En resumen, la conclusión general es que el Humedal el Burro enfrenta múltiples desafíos ambientales que requieren medidas urgentes y coordinadas para conservar su integridad ecológica y promover un equilibrio sostenible en el ecosistema.

Al entrar a examinar los resultados del Objetivo 3 destaca estrategias y medidas para la gestión integral del Humedal El Burro, centrándose en mejorar su capacidad como regulador de gases de efecto invernadero. Se han propuesto diversas estrategias de

restauración y manejo, con un enfoque en la biodiversidad y la implementación de metodologías bajo el Estándar VCS. Estas metodologías del sector privado buscan compensar emisiones a través de proyectos globales que generan créditos de carbono.

En particular, se detallan metodologías específicas, como la restauración de humedales y la estimación de cambios en el stock de carbono. La implementación de estas estrategias busca garantizar la viabilidad técnica y financiera de los proyectos en el Humedal El Burro, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Además, se presentan estrategias de manejo de la vegetación acuática, destacando la importancia de mantener áreas con vegetación sumergida y poblaciones de vegetación palustre para equilibrar el ecosistema. La evaluación y monitoreo continuo se plantean como elementos esenciales, utilizando metodologías estandarizadas y evaluaciones biológicas rápidas para comprender la salud y diversidad del humedal.

Finalmente, se subraya la importancia de la educación y concienciación como herramientas clave para involucrar a la comunidad en la protección del Humedal El Burro. Se proponen diversas estrategias educativas, como libros para colorear, manuales participativos y juegos de memoria, con el objetivo de transmitir la importancia de la conservación y el uso sostenible de los humedales en la regulación de gases de efecto invernadero. La implementación de estos enfoques puede contribuir significativamente a la preservación y mejora del ecosistema del Humedal El Burro.

Ahora bien si abordamos el tema de la viabilidad financiera en el proyecto podemos dar cuenta de que en conclusión, con una TIR del 99% y un Payback Descontado de 0 años según los flujos de caja, el proyecto luce sumamente rentable y atractivo para implementar cuanto antes en los proyectos planificados en el PMA para los próximos años.

Recomendaciones

Objetivo 1: Con el propósito de cumplir con este objetivo, se sugiere llevar a cabo las siguientes acciones, teniendo en consideración los factores previamente abordados.

Gestión Integral del Humedal El Burro:

- Deliberar la implementación de estrategias y medidas enfocadas en la gestión completa del humedal, alineadas con estándares reconocidos a nivel internacional.
- Explorar posibles colaboraciones con entidades privadas y organizaciones gubernamentales para fortalecer tanto la financiación como el respaldo técnico en la ejecución de proyectos de gestión ambiental.

Restauración y Manejo para la Regulación de Gases de Efecto Invernadero:

- Ampliar las estrategias existentes de restauración y manejo del humedal, priorizando aquellas que optimicen su capacidad como regulador de gases de efecto invernadero.
- Estimular la aplicación de metodologías bajo el Estándar VCS en proyectos que generen créditos de carbono, incentivando así la participación del sector privado en iniciativas sostenibles.

Monitoreo Continuo y Evaluaciones Biológicas:

- Reforzar las actividades de monitoreo constante del humedal, empleando metodologías estandarizadas y evaluaciones biológicas ágiles para obtener datos actualizados acerca de su salud y biodiversidad.
- Implementar tecnologías avanzadas, como sistemas de sensores remotos, para mejorar la eficacia del monitoreo y obtener información en tiempo real.

Educación y Concienciación:

- Consolidar las estrategias educativas ya existentes mediante la incorporación de programas de educación ambiental en las escuelas locales y actividades comunitarias.
- Investigar la posibilidad de establecer programas de voluntariado para involucrar de manera activa a la comunidad en proyectos de conservación y restauración del humedal.

Innovación en Tratamiento de Aguas Residuales:

- Investigar y adoptar tecnologías innovadoras para el tratamiento de aguas residuales, con el objetivo de mejorar la calidad del agua y reducir la presencia de contaminantes, incluyendo metales pesados.

Objetivo 2. En relación con este objetivo, se sugiere explorar enfoques basados en buenas prácticas de gestión ambiental, teniendo en cuenta los siguientes procesos y aspectos.

Fragmentación del Humedal:

- Investigar soluciones de ingeniería que permitan la restauración de la conectividad hídrica, contemplando la posibilidad de puentes ecológicos o pasos subterráneos para minimizar la interrupción del flujo natural.
- Explorar proyectos de infraestructura sustentable que puedan atenuar los impactos del tráfico vehicular, como la implementación de transporte público eficiente y el desarrollo de vías amigables con el medio ambiente.

Contaminación del Agua:

- Impulsar iniciativas de tratamiento de aguas residuales, incorporando tecnologías avanzadas para reducir la presencia de metales pesados y residuos sólidos.
- Establecer regulaciones más estrictas y campañas de concientización para prevenir vertimientos no autorizados, involucrando activamente a la comunidad en la protección del humedal.

Especies Invasoras:

- Desarrollar estrategias específicas de control para la erradicación o gestión controlada del retamo espinoso, incluyendo métodos biológicos y químicos que minimicen impactos en otras especies.
- Promover la revegetación con especies nativas para fortalecer el equilibrio ecológico y reducir la capacidad de las especies invasoras para afectar la retención de gases de efecto invernadero.

Calidad del Aire:

- Implementar medidas para fortalecer la vigilancia y control de fuentes específicas de emisión con el fin de mejorar la calidad del aire en las áreas cercanas al humedal.

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero:

- Ampliar la red de monitoreo para obtener datos más precisos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, con especial énfasis en el NO2.
- Fomentar investigaciones y proyectos que reduzcan las emisiones y promuevan prácticas sostenibles en las áreas circundantes.

Objetivo 3. Se sugiere implementar estrategias específicas para la gestión integral del Humedal El Burro, focalizándose en optimizar su función como regulador de gases de efecto invernadero. Las propuestas de restauración y manejo se centran en la biodiversidad, empleando metodologías bajo el Estándar VCS del sector privado para compensar emisiones a través de proyectos globales de generación de créditos de carbono.

1. Restauración y Manejo:
    - Priorizar estrategias de restauración de humedales y estimación de cambios en el stock de carbono para asegurar la viabilidad técnica y financiera de los proyectos.
    - Integrar metodologías específicas que se alineen con estándares internacionales para contribuir efectivamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

2. Manejo de la Vegetación Acuática:
    - Desarrollar estrategias para preservar áreas con vegetación sumergida y poblaciones de vegetación palustre, equilibrando así el ecosistema del humedal.
    - Establecer un monitoreo continúo utilizando metodologías estandarizadas y evaluaciones biológicas rápidas para comprender la salud y diversidad del humedal.
3. Educación y Concienciación:
    - Implementar diversas estrategias educativas, como libros para colorear, manuales participativos y juegos de memoria, para involucrar a la comunidad en la protección del Humedal El Burro.
    - Enfocarse en la relevancia de la conservación y el uso sostenible de los humedales en la regulación de gases de efecto invernadero, destacando el papel crucial del humedal en la mitigación del cambio climático.

La adopción de estas medidas respalda la preservación y mejora del ecosistema del Humedal El Burro, al tiempo que contribuirá significativamente a la reducción de emisiones y al fortalecimiento de su función como regulador ambiental

Bibliografía

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2015). Plan de Acción, Política Pública de Humedales del Distrito Capital. Bogotá D.C. Bogotá D.C.

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2014). Decreto 172 del 30 de abril de 2014. “Por el cual se reglamenta el Acuerdo 546 de 2013, se organizan las instancias de coordinación y orientación del Sistema Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático SDGR-CC y se definen

lineamientos para su funcionamiento".

Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M. y A.M. Umaña. 2004. Manual de Métodos Para el Desarrollo de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá. Colombia.

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).

Arias García, J., & Gómez Zotano, J. (2015). La planificación y gestión de los humedales de Andalucía en el marco del Convenio Ramsar.

Brancalion, P. H. (2019). The potential of ecological restoration to reduce poverty and inequality. . Nature Ecology & Evolution, 3(4), 439-448.

Bonilla, D. y Camacho, A. (2016). Humedales: libro infantil para colorear. Proyecto Humedales. Costa Rica: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Camacho, A. (2018). Rompecabezas: sitios Ramsar de Costa Rica. Proyecto Humedales. Costa Rica: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Camacho, A. Herrera, J., Vargas, P., Jiménez, R., Veas, N., Acuña, F., y Quirós, M. (2017). Estado de los humedales: nuevos desafíos para su gestión. Costa Rica: Informe estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Disponible en

https://estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/023/Ambientales/Miranda-M_et-al_2017.pdf

Camacho, A. y Zúñiga, M. (2017). Humerimoria: juego de memoria y asocie sobre fauna asociada a humedales. Proyecto Humedales. Costa Rica: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Camacho, A. y Zúñiga, M. (2017). Manual de metodologías participativas para el trabajo con grupos. Proyecto Humedales. Costa Rica: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Línea Verde. (s.f). Sensibilización y Concienciación Ambiental.

Costanza, R. (2008). Ecosystem services: Multiple classification systems are needed. . Biological Conservation, 141(2), 350-352.

Crump, M. L. y N. J. Scott, 1994. Visual Encounter Surveys. In: Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods for Amphibians. Eds. Heyer, W., M. A., Donnelley, R. A., McDiarmid, L.C., Hayec & M. C., Foster. Smithsonian Institution Press, Washington D.C.

De La Ossa, J., G. Cárdenas-Arévalo y V. Páez. 2012. Métodos de campo para estudios demográficos. Capítulo 13. Pp. 171-186. En: Páez, V., M. A. Morales-Betancourt, C. A. Lasso, O. Castaño-Mora y B. Bock (Eds.). Biología y conservación de las tortugas continentales de Colombia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros

Erwin, K. L. (2009). The role of wetland restoration in a changing world. Wetlands Ecology and Management, 17(1), 71-84.

Hernandez, R. R. (2018). Restoration of ecosystem services and biodiversity: Conflicts and opportunities. Frontiers in Ecology and the Environment, 16(2), 59-67.

Hobbs, R. J. (2019). Restoration ecology and the future of ecosystems. . Science, 364(6443), eaav4858.

Laestadius, L. B.-L. (2019). Forest landscape restoration for livelihoods and well-being. In Forest and Land Use Governance for Mitigation and Adaptation, (pp. 101-120). Springer, Cham.

Lasso, C. A. (2014). Descripción metodológica para la evaluación biológica en los complejos de humedales.

Lavorel, S. E. (2014). Ecosystem services for human well-being: A framework for assessment. . Frontiers in Ecology and the Environment, 12(6), 351-357.

Middleton, B. A. (2013). Wetland restoration, flood pulsing, and disturbance dynamics. Journal of Coastal Researc, 1659-1663.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (29 de diciembre de 2017). Decreto 2245 de 2017. Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015,

Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt. Barrera-Cataño, J., Contreras-Rodríguez, S., Garzón-Yepes, N., Moreno-Cárdenas, A., & Montoya-Villareal, S. (2010).

Moreno-Mateos, D. P. (2012). Structural and functional loss in restored wetland ecosystems. . PLoS Biology, 10(1), e1001247.Reyers, B. C. (2013). Ecosystem services and climate change adaptation: Identifying and amplifying positive feedbacks. Ecological Economics, 85, 268-276.

Secretaría Distrital de Ambiente. (2023) Informe Trimestral de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá D.C.

Sills, E. K. (2019). Ecosystem-based adaptation for smallholder farmers: Opportunities and barriers. . Environmental Science & Policy, 101, 461-472.

Sukhdev, P. W.-S. (2018). Natural capital accounting and the sustainability paradigm. . In Ecological Economics of Sustainable Watershed Management , (pp. 1-19).

Springer, Cham.Turner, R. K. (2016). Valuing ecosystem services and biodiversity: The case of multi-scale assessment in coastal habitats. Journal of Coastal Conservation, 20(1), 1-11.

Vargas, C. I.-A. (2017). Integrating ecosystem services into climate change adaptation planning: A conceptual framework. . Climate Risk Managemen, 16, 39-52.

Zedler, J. B. (2005). Wetland resources: Status, trends, ecosystem services, and restorability. . Annual Review of Environment and Resources, 30(1), 39-74.

ACWI. (2013). A National Framework for Ground – Water Monitoring in the United States. Advisory Committee on Water Information [ACWI].