

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LAS CONDICIONES FISICOQUÍMICAS
DE CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL DE NEUTA DEL MUNICIPIO
DE SOACHA**

**Brayan Santiago Castellanos Carranza
Mateo Fajardo Romero**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C
2024**

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LAS CONDICIONES FISICOQUÍMICAS
DE CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL DE NEUTA DEL MUNICIPIO
DE SOACHA**

**Brayan Santiago Castellanos Carranza
Mateo Fajardo Romero**

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero ambiental

**Director:
Johan Álvarez Berrio
Magister en toxicología**

**Ordenamiento ambiental del territorio y gestión ambiental
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C
2024**

Tabla de contenido.

RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCION	15
1. OBJETIVOS	17
1.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
2. ANTECEDENTES.....	18
2.1. ANTECEDENTES DE PROYECTOS DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE HUMEDALES EN COLOMBIA.....	18
2.2. ANTECEDENTES DE PROYECTOS EJECUTADOS EN EL HUMEDAL NEUTA (SOACHA, CUNDINAMARCA)	19
3. MARCO TEORICO	21
3.1. CLASIFICACIÓN DE CONTAMINANTES EN HUMEDALES	21
3.1.1. Contaminantes físicos	21
3.1.2. Contaminantes Químicos	22
3.1.3. Contaminantes Biológicos:.....	22
3.2. ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN	23
3.2.2. PH.....	23
3.2.3. Conductividad Eléctrica.....	23
3.2.4. Turbidez	24
3.2.5. Oxígeno Disuelto.....	24
3.2.6. DBO	24
3.2.7. DQO.....	24
3.2.8. Sólidos Disueltos Totales.....	24
3.2.9. Alcalinidad	25
3.2.9. Fosforo Total	25
3.2.10. Dureza	25
3.3. ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN Y SUS CORRELACIONES ENTRE VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS	25
3.3.1. ICOMO (Índice de Contaminación por Materia Orgánica)	26
3.3.2. ICOMI (Índice De Contaminación Por Mineralización)	26
3.3.3. ICOTRO (Índice De Contaminación Trófico).....	26
3.3.4. ICOSUS (Índice De Contaminación Por Sólidos Suspendidos	26
3.3.5. Índice de Calidad del Agua (ICA)	27
3.3.6. El Índice de Calidad del Agua (ICA)	27
3.4. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA EN CUERPOS SUPERFICIALES.....	28
3.4.1. Pasos para la recolección.....	28
3.5. DEFINICIONES CONCEPTUALES	29
3.5.1. Biotopo:.....	29
3.5.2. RAMSAR:	29
3.5.3. IDEAM:	29
3.5.4. Estiaje:.....	29
3.5.5. Transición:.....	29

3.5.6.	Lluvia:.....	29
4.	METODOLOGIA.....	30
4.1.	RECOPILACION DE INFORMACION	30
4.2.	FASES DE CAMPO	30
4.2.1.	Reconocimiento del humedal y selección de puntos de muestreo.....	31
4.3.	ANÁLISIS ESPACIAL	32
4.3.1.	Análisis pre-campo para la identificación de las zonas de mayor contaminación del humedal	32
4.4.	UBICACIÓN DE COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE MEDICION CARTOGRAFICAMENTE	33
4.5.	IDENTIFICACION, Y DESCRIPCION DE CRITERIOS PARA SELECCIONAR LOS PUNTOS DE MEDICION,	34
4.5.1.	Criterios de selección de los puntos de medición	34
4.5.2.	Descripción de puntos de medición y criterios de selección hallados	35
4.6.	TOMA DE DATOS.....	41
4.6.1.	Recolección de Muestras de Agua en el Humedal para análisis de laboratorio	42
4.6.2.	Pasos para la recolección de muestras	43
5.	FASE DE CÁLCULOS Y RESULTADOS	45
5.1.	RESULTADOS DE LA RECOPIACIÓN DE DATOS DE PRECIPITACIÓN	45
5.2.	RESULTADOS DE LA RECOPIACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.....	45
5.3.1.	Datos de Parámetros Físicoquímicos Recopilados.	46
5.3.2.	pH (Potencial de Hidrógeno)	46
5.3.3.	Oxígeno Disuelto	46
5.3.4.	Conductividad	47
5.3.5.	SST (sólidos suspendidos totales).....	47
5.3.6.	DBO (demanda biológica de oxígeno).....	48
5.3.7.	Alcalinidad.....	48
5.3.8.	Coliformes Totales.....	48
5.3.9.	Dureza	49
5.3.10.	Fósforo Total:	49
5.3.11.	DQO (demanda química de oxígeno):	49
5.4.	CÁLCULO Y RESULTADOS DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN.....	50
5.4.1.	Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)	50
5.4.2.	Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)	52
5.4.3.	Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)	54
5.4.4.	Índice de contaminación trófico (ICOTRO)	54
5.4.5.	Índice de Calidad del agua (ICA)	55
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	58
6.1.	ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN.....	58
6.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS CORRELACIONADOS	59
6.2.2.	pH.....	63
6.2.3.	Oxígeno Disuelto	64
6.2.4.	Conductividad	65

6.2.5. SST.....	67
6.2.6. DBO.....	68
6.2.7. Coliformes Totales.....	69
6.2.8. Fosforo Total	71
6.2.9 Dureza	72
6.2.10 DQO	74
6.2.11 ALCALINIDAD.....	75
6.3. ANALISIS DE RESULTADOS DE LOS INDICES DE CONTAMINACION Y INDICE DE CALIDAD DEL AGUA .	76
6.3.1. Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)	78
6.3.2. Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS)	79
6.3.3. Índice de contaminación trófico.....	80
6.3.4. Índice de Calidad del Agua (ICA):	81
7. LINEAMIENTOS DE MANEJO Y CONTROL	82
8. IMPACTO SOCIAL Y HUMANISTICO DEL PROYECTO.....	84
8.1. estrategias de conservación e impacto social positivo frente a la conservación de áreas naturales y hábitats.....	84
8.1.2. estrategias de conservación con un impacto social positivo como resultado del proyecto desarrollado	84
9. CONCLUSIONES.....	86
10. RECOMENDACIONES	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
11. REFERENCIAS.....	88

Listado de tablas.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de medición	33
Tabla 2. Registro de datos (parámetros fisicoquímicos) tomados en campo punto de medición numero 1 época estiaje.	45
Tabla 3. Recopilación datos del ph del agua.	46
Tabla 4. Recopilación datos de oxígeno disuelto.....	47
Tabla 5. Recopilación datos de conductividad.....	47
Tabla 6. Recopilación datos de solidos suspendidos totales	47
Tabla 7. Recopilación datos de demanda biológica de oxigeno.....	48
Tabla 8. Recopilación datos de alcalinidad.....	48
Tabla 9. Recopilación datos de coliformes totales	48
Tabla 10. Recopilación datos de dureza.....	49
Tabla 11. Recopilación datos de fosforo total	49
Tabla 12. Recopilación datos de dco	50
Tabla 13. Resultados índices icomi	52
Tabla 14. Resultado índice icomo	54
Tabla 15. Tabla de rangos calificación del índice icotro según el nivel de fosforo.....	55
Tabla 16 resultados índice icotro.....	55
Tabla 17. Tabla de variables, unidades de medida y ponderación para el cálculo del ica.....	55
Tabla 18. Tabla índice de variables con ecuación y resultados de la investigación.	56
Tabla 19. Resultado índice icomi	57
Tabla 20. Oxígeno disuelto estaciones y épocas	65
Tabla 21. Tabla de resultados del índice de contaminación icotro.....	80
Tabla 22. Lineamiento de manejo de calidad del agua y conservación	82

Tabla 23. lineamiento de monitoreo de vertimientos 83

Tabla 24. Lineamiento de seguridad y control ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Listado de figuras

FIGURA 1. METODOLOGÍA	30
FIGURA 2. FOTO PANORÁMICA ORIENTAL DEL HUMEDAL NEUTA	31
FIGURA 3. UBICACIÓN DE ESTACIONES GOOGLE EARTH 3D.....	33
FIGURA 4. MAPA DEL HUMEDAL NEUTA Y UBICACIÓN CARTOGRÁFICA DE LAS 5 ESTACIONES DE MUESTREO.....	34
FIGURA 5. FOTO UBICACIÓN PUNTO DE MEDICIÓN 1 EL HUMEDAL NEUTA	36
FIGURA 6. FOTO UBICACIÓN PUNTO DE MEDICIÓN 2 DEL HUMEDAL NEUTA	38
FIGURA 7. FOTO UBICACIÓN PUNTO DE MEDICIÓN 3 DEL HUMEDAL NEUTA	39
FIGURA 8. FOTO UBICACIÓN PUNTO DE MEDICIÓN 4 DEL HUMEDAL NEUTA	40
FIGURA 9. FOTO UBICACIÓN PUNTO DE MEDICIÓN 5 DEL HUMEDAL NEUTA	41
FIGURA 10. MULTIPARÁMETRO SONDA GPS DE REFERÊNCIA (HANNA HI 9829).....	42
FIGURA 11. BOTELLAS EN VIDRIO PARA TOMA DE MUESTRA	43
FIGURA 12. CAVA DE ICOPOR PARA CONFINAMIENTO Y TRASNPORTE DE MUESTRA.	44
FIGURA 13. CAVA DE ICOPOR PARA CONFINAMIENTO Y TRANSPORTE DE MUESTRA.	44
FIGURA 14. PRECIPITACIÓN DE DATOS MENSUALES DEL IDEAM DESDE EL AÑO 2023 HASTA EL AÑO 2024, PARA LOS MESES DE DICIEMBRE, FEBRERO Y ABRIL.	59
FIGURA 15. MATRIZ DE CORRELACION ASUMIENDO LA NORMALIDAD – MAPA DE CALOR	61
FIGURA 16. MATRIZ DE CORRELACION SIN ASUMIR LA NORMALIDAD – MAPA DE CALOR	62
FIGURA 17. CORRELACIÓN DE PH.....	64
FIGURA 18. CORRELACIÓN DE CONDUCTIVIDAD	66
FIGURA 19. GRAFICA MENSUAL DE SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES, ESTACIONES Y EPOCAS	68
FIGURA 20. CORRELACIÓN DE DBO	69
FIGURA 21. GRÁFICA COLIFORMES TOTALES ESTACIONES Y ÉPOCAS.	71
FIGURA 22. GRAFICA FOSFORO TOTAL ESTACIONES Y ÉPOCAS.....	72
FIGURA 23. GRAFICA DUREZA ESTACIONES Y ÉPOCAS.....	73
FIGURA 24. GRAFICA DQO ESTACIONES Y ÉPOCAS.....	75
FIGURA 25. GRAFICA ALCALINIDAD ESTACIONES Y ÉPOCAS	76
FIGURA 26. GRAFICA ICOMI ESTACIONES Y ÉPOCAS.	77

FIGURA 27. GRAFICA ICOMO ESTACIONES Y ÉPOCAS.....	78
FIGURA 28. GRAFICA ICOSUS ESTACIONES Y ÉPOCAS.	79
FIGURA 29. GRAFICA ICA ESTACIONES Y ÉPOCAS.....	81

Listado de ecuaciones

Ecuación 1. Índice del parámetro conductividad extraído de libro de limnología colombiana 1998.....	51
Ecuación 2. Índice del parámetro dureza extraído de libro de limnología colombiana 1998	51
Ecuación 3. Índice del parámetro alcalinidad extraído de libro de limnología colombiana 1998	51
Ecuación 4. Calculo índice de contaminación icomi extraído de libro de limnología colombiana 1998.....	51
Ecuación 5. Índice del parámetro dbi extraído de libro de limnología colombiana 1998	52
Ecuación 6. Índice del parámetro coliformes totales extraído de libro de limnología colombiana 1998.....	53
Ecuación 7. Índice del parámetro % oxígeno extraído de libro de limnología colombiana 1998	53
Ecuación 8. Calculo índice de contaminación icomo extraído de libro de limnología colombiana 1998.....	53
Ecuación 9. Calculo índice de contaminación icosus extraído de libro de limnología colombiana 1998.....	54

Lista de Símbolos

Símbolos de unidades

Símbolo	Término
<i>mg</i>	Miligramo
<i>L</i>	Litro
<i>log</i>	Logaritmo
<	Menor que
>	Mayor que
<i>cm</i>	Centímetro
μS	Microsiemenes
<i>NMP</i>	Número más probable
%	Porcentaje
UFC	unidades formadoras de colonia
mL	Mililitros

Lista de abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
-------------	---------

<i>ICOMI</i>	Índice de contaminación por mineralización.
<i>ICOMO</i>	Índice de contaminación por materia orgánica.
<i>ICOSUS</i>	Índice de contaminación por sólidos suspendidos.
<i>ICOTRO</i>	Índice de contaminación trófico.
<i>ICA</i>	Índice de Calidad del agua.
<i>Subi</i>	Subíndices del parámetro i
<i>Wi</i>	Pesos relativos asignados
<i>DQO</i>	Demanda química de oxígeno
<i>DBO</i>	Demanda biológica de oxígeno
<i>SST</i>	Sólidos suspendidos totales
<i>IDEAM</i>	Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales
<i>CAR</i>	Corporación autónoma regional

RESUMEN

Lo significativo de los humedales en Colombia se logra evidenciar en Cundinamarca, donde encontramos el humedal Neuta ubicado en la comuna uno de Soacha Compartir. Este humedal ha presentado diversas amenazas por contaminación, cuenta con una gran biodiversidad y es de suma importancia preservarlo debido a su regulación ambiental; sin embargo, en los últimos años se han evidenciado notorias actividades antropogénicas como el incremento de la urbanización y la descarga de desechos que provienen de las zonas circundantes. Se investigó la calidad del agua, recopilando datos de investigaciones previas donde se evaluaron los parámetros fisicoquímicos. Para el estudio se establecieron puntos de monitoreo estratégicos para la medición de dichos parámetros y poder calcular los índices de contaminación. Los hallazgos revelaron un estado de eutrofización y la influencia de emisiones generadas por el ser humano que resulta en un exceso de nutrientes alterando el nicho, con estos resultados se dan una serie de lineamientos y recomendaciones para el manejo sostenible y la preservación del ecosistema.

Palabras clave: Humedales, contaminación, biodiversidad, urbanización, calidad del agua, parámetros fisicoquímicos, eutrofización, antrópica

ABSTRACT

The significance of wetlands in Colombia is evidenced in Cundinamarca, where we find the Neuta wetland located in commune one of Soacha Compartir. This wetland has presented diverse threats due to environmental contamination, the Neuta wetland has a great biodiversity, and it is of great importance to preserve it due to its environmental regulation; however, in the last years it has been evidenced notorious anthropogenic activities such as the increase of urbanization and the discharge of waste that comes from the surrounding areas to the wetland. Water quality was investigated, compiling data from previous investigations where physicochemical parameters were evaluated. The findings revealed a state of eutrophication and the influence of anthropogenic activities resulting in an excess of nutrients. These results provide a series of management guidelines and recommendations for the sustainable management and preservation of the ecosystem.

Key words: Wetlands, pollution, biodiversity, urbanization, water quality, physico-chemical parameters, eutrophication, anthropogenic

INTRODUCCION

Los humedales son ecosistemas estratégicos que ofrecen una serie de servicios ecosistémicos esenciales, incluida la regulación del cambio climático y la preservación de la biodiversidad según Stuart Butchart, (2005), sin embargo, muchos de ellos se han utilizado de forma incorrecta, debido a que han sido rellenados para la construcción y contaminados con vertimientos de aguas residuales industriales y domésticas como ocurre actualmente en el humedal Neuta conforme a lo afirmado por la CAR, (2024). Este estudio identifica las áreas de alta contaminación y áreas conservadas permitiendo un análisis comparativo espacial y temporal para formular estrategias de manejo adecuadas de acuerdo con RAMSAR, (2006).

Los humedales se definen como extensiones de ecosistemas acuáticos de origen natural o artificial, permanentes o temporales, de aguas estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas. Estos ecosistemas son importantes para la conservación del planeta debido a los servicios que proporcionan (Ramsar, 2006). El humedal Neuta, en Soacha, Cundinamarca, es fundamental para el municipio y para la región, tiene ventajas benéficas para las comunidades aledañas al ser un principal productor de oxígeno y conservar varias especies.

El humedal Neuta enfrenta desafíos por actividades antropogénicas de sus alrededores y de los conjuntos residenciales circundantes, estas actividades causan afectaciones en las que se involucra el componente del recurso hídrico. La Universidad de Cundinamarca documentó en el año 2018, las estrategias para conservar estos ecosistemas destacando la importancia y resaltando los componentes ambientales, sociales y jurídicos.

El humedal Neuta ha experimentado impactos ambientales por la urbanización en su entorno, la reducción de su área por vertimientos y la disposición inadecuada de materiales de construcción y residuos (Lopez, 2006). Es importante realizar un estudio multitemporal y espacial de la calidad del agua en este humedal para recopilar información que oriente a las autoridades ambientales y a la comunidad sobre su estado y comportamiento a lo largo del tiempo y como se encuentra actualmente.

Esto permitirá comprender más los desafíos del humedal y ayudará a establecer acciones correctivas necesarias para su preservación teniendo en cuenta su importancia como humedal RAMSAR con características clave como diversidad biológica y ecosistemas vitales. El enfoque de este estudio es recopilar datos

actualizados para generar estrategias y concientización del estado actual del humedal Neuta.

Esta investigación analiza la calidad del agua del humedal Neuta de manera espacial y temporal utilizando datos históricos de parámetros fisicoquímicos y estableciendo cinco puntos de monitoreo estratégicos. Se calcularon diferentes Índices de Calidad del Agua (ICA) para comprender la relación de las condiciones fisicoquímicas y así establecer directrices para su preservación y manejo adecuado generando, de acuerdo con los resultados, unos parámetros que van a obtener algunos ICA como ICOMI, ICOSUS, ICOMO, ICOTRO E ICA.

Su análisis genera resultados que se emplean para realizar fichas de lineamientos de manejo adecuado de calidad del agua, mejorando la interacción entre el humedal y las zonas circundantes al mismo. Esto genera una serie de conclusiones las cuales van en función de la estructura de las recomendaciones que se deben tener en cuenta para impulsar el manejo sostenible del humedal y la preservación de este ecosistema.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar multitemporal-mente las condiciones fisicoquímicas de calidad del agua del humedal de Neuta del municipio de Soacha.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar las zonas de mayor contaminación del humedal.
- Caracterizar las condiciones fisicoquímicas del agua a nivel espacial en el humedal de Neuta.
- Establecer los Índices de Calidad del Agua ICOSUS, ICOTROPO, ICOMU, ICOMI e ICA IDEAM.
- Formular lineamientos de manejo a la calidad del agua.

2. ANTECEDENTES

Los humedales en Colombia representan ecosistemas de gran relevancia ambiental, ecológica y sociocultural. Estos ecosistemas abarcan una amplia variedad de ambientes acuáticos, donde se incluyen lagos, lagunas, ciénagas, pantanos y manglares. Los humedales brindan una amplia variedad de servicios ecosistémicos como la regulación del ciclo del agua o hidrológico, recarga de cuerpos de agua y la conservación de la biodiversidad. A lo largo de los años se han desarrollado diversos estudios para comprender a profundidad cómo funciona la dinámica y la salud de estos ecosistemas, el enfoque o dirección que han tomado estos estudios ha sido la medición de parámetros fisicoquímicos del agua como la temperatura, pH, conductividad, niveles de oxígeno disuelto y presencia de nutrientes y contaminantes según el Ministerio de Ambiente, (2007).

Esta medición de parámetros permite realizar diversos estudios para evaluar la calidad del agua y proponer acciones con el fin de implementar estrategias de conservación y/o restauración como lo mencionan las siguientes investigaciones:

2.1. Antecedentes de proyectos de medición de parámetros fisicoquímicos de humedales en Colombia

En su estudio sobre los humedales en la región de la Orinoquia realizado por Gonzales, (2010), los investigadores analizaron los parámetros fisicoquímicos del agua para determinar la calidad y salud de estos ecosistemas, encontrando que los humedales de esta región en su mayoría presentan niveles elevados de nutrientes, esto debido a la agricultura intensiva y el uso excesivo de fertilizantes químicos lo que termina en un problema de eutrofización.

El objetivo del estudio de Moreno, (2014) fue analizar desde 1950 al 2016, de manera exploratoria, el área de humedales y como disminuye por temas de desecación con el fin de realizar actividades de construcción. Analizaron la información geográfica proporcionada por el instituto Agustín Codazzi (IGAC) y de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), determinando a través de dos softwares de cartografía y modelación, ARGIS PRO y AutoCAD, el porcentaje de pérdida de estos cuerpos hídricos en el rango de tiempo establecido en la ciudad de Bogotá.

El objetivo de la investigación de Martínez, (2015) fue realizar un estudio integral de los humedales del río Magdalena, enfocándose en la calidad y biodiversidad del agua, encontrando la presencia de metales pesados en humedales y ciénagas lo

que se atribuye a la actividad minera que se encuentra en la cuenca del río Magdalena.

Durante un extenso periodo el humedal Neuta, ubicado en el municipio de Soacha, se ha visto afectado por actividades antrópicas las cuales se resumen en desechos de residuos orgánicos en el cuerpo de agua, descarga de escombros por parte de construcciones circundantes al mismo y también evidenciando la conexión de mangueras que van desde los conjuntos residenciales circundantes y terminan en el cuerpo de agua asumiendo que hacen descarga de algún tipo de líquidos en el humedal lo que puede causar afectación de este.

2.2. Antecedentes de proyectos ejecutados en el humedal Neuta (Soacha, Cundinamarca)

Según indica Vásquez, (2020), por más de 25 años se ha dedicado al cuidado del humedal Neuta cumpliendo las labores de resguardar las especies, sembrar árboles, mantener plantas y cultivos, preservando la fauna y flora. El humedal Neuta cuenta con un mariposario y con un número de aves migratorias como la tingua, la garza real, patos canadienses, halcones y otras en particular que son netamente migratorias. A raíz de esto, Vásquez, (2020) indica las funciones del humedal las cuales consisten en reservar el agua en época de invierno y tenerla depositada para luego poder usarla en verano contribuyendo al problema del calentamiento global.

El potencial que tiene este humedal ha incentivado a una serie de investigadores y expertos del recurso hídrico a formular y ejecutar diferentes proyectos, los cuales han generado un concepto técnico y un enfoque a formular lineamientos para el cuidado y la preservación de este importante ecosistema que también hace parte de los humedales catalogados RAMSAR. Teniendo en cuenta que la administración del humedal Neuta trabaja en colaboración con la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), los proyectos más importantes realizados frente a este cuerpo hídrico son los siguientes:

Se realizó un estudio evaluativo elaborado por Salazar López (2006), sobre el estado actual de la flora del humedal tanto del cuerpo de agua como de la ronda de este, determinando la composición florística y estructural de los diferentes biotopos. Es importante el Plan de Manejo Ambiental (PMA) 2005 – CAR que establece directrices para poder ejecutar de manera correcta el PMA y poder reducir una de las problemáticas más grandes del humedal como el acceso libre y consecuente de las acciones antrópicas.

Un estudio sobre la caracterización de los conflictos ambientales del humedal de Neuta en el municipio de Soacha, Cundinamarca, realizado por Santana, (2020), se basó en el análisis de las modificaciones en el entorno de este a lo largo del tiempo, causadas por actividades humanas que están dañando el ecosistema. Para llevar a cabo esta evaluación, se consideraron fuentes de información claves, como el Plan de Ordenamiento Territorial y el Plan de Manejo Ambiental. Los documentos fueron fundamentales en la identificación del estado actual del humedal y en el seguimiento de los avances realizados según las regulaciones para preservar y conservar este hábitat.

El planteamiento del manejo de riesgos en el humedal Neuta por Ferney (2018) consiste en un proyecto de gestión que propone la utilización de herramientas de ingeniería para abordar y reducir los efectos de los riesgos que afectan este ecosistema logrando mitigar, transformar y/o reemplazar los impactos generados por dichos riesgos.

Hubo un interés académico como social en este proyecto. Además, se evidencia la intención de proporcionar información actualizada sobre los riesgos presentes en el área. Para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto, se consideraron las normas ambientales tanto nacionales como internacionales, así como los acuerdos ambientales históricos que han sido establecidos a lo largo del tiempo. Estos elementos sirvieron como base para crear herramientas que contribuyeran a la preservación del entorno ecológico.

Los estudios de calidad del agua de este humedal son escasos, ya que desde hace poco se iniciaron pequeños ajustes para preservar su vida y mitigar la acción antrópica con plantación de árboles nativos, limpieza en zonas determinadas donde por dichas acciones se acumulan, control de seguridad dentro del humedal y rondas en diferentes horas del día. Estos pequeños ajustes en el control contribuyeron en algunos proyectos como lo hizo el Plan de Manejo Ambiental elaborado en 2006, en el cual se realizó un estudio evaluativo del humedal Neuta por Salazar López, (2006). Finalmente, con este análisis se evidenció la calidad del agua a través de toma de parámetros fisicoquímicos y se determinó su estado a través de un índice de estos mismos para poder evaluar las ecuaciones de los índices de contaminación según su valor obtenido.

3. MARCO TEORICO

El humedal de Neuta es la unidad de estudio en esta investigación, abarcando la interacción entre el recurso hídrico y los componentes sociales, económicos, bióticos y abióticos. Los humedales son áreas con entornos diversos, como marismas, pantanos, turberas y cuerpos de agua, naturales y artificiales, con características permanentes o temporales, y con agua dulce, salobre o salada. Estos espacios se caracterizan por la constante interacción entre los ecosistemas acuáticos y terrestres, resultante de la dinámica entre sus componentes físicos, biológicos y químicos. Se consideran zonas híbridas que albergan una biota adaptada a cambios hidrológicos según lo afirma la CAR, (2011).

La estructura de los humedales se compone de agua, sustrato y comunidades biológicas, siendo el agua un elemento fundamental que controla el entorno y la vida que estos albergan. Cumplen una variedad de funciones esenciales, como el almacenamiento de agua, la mitigación de crecidas, la regulación del nivel freático, la erosión controlada, la depuración del agua y la retención de contaminantes, nutrientes y sedimentos. Además, ejercen un impacto climático al estabilizar microclimas en microcuencas y proporcionar hábitats naturales para una diversidad de especies de acuerdo con la Secretaría de la Convención de Ramsar, (2013).

Los humedales también poseen un valor cultural al proporcionar beneficios estéticos, educativos y recreativos, siendo considerados patrimonio cultural. Desde un punto de vista económico, contribuyen a la producción de alimentos. En términos de su estructura, los humedales se dividen en tres zonas: alta, riparia y acuática. La zona alta rodea el humedal y está caracterizada por la presencia de árboles y vegetación terrestre, la zona riparia se encuentra entre la zona acuática y la zona alta, mientras que la zona acuática se compone principalmente de agua y presenta vegetación flotante de acuerdo con lo asegurado por la CAR, (2011).

3.1. Clasificación de contaminantes en humedales

En los humedales se pueden encontrar varios tipos de contaminantes como:

3.1.1. Contaminantes físicos

En un humedal se refiere a cualquier material sólido que se introduce dentro del cuerpo de agua en el que altera su estructura y función. Se dividen en:

- **Residuos sólidos**

Materiales que no son ni líquidos ni gaseosos, que resultan de actividades antrópicas y que son desechados porque ya no son útiles y se manejan inadecuadamente en su disposición final, resultando acumulados en los cuerpos de agua superficiales como los plásticos, metales, vidrios y restos de alimentos.

- **Sedimentos**

Partículas de suelo, arena y minerales que tienden a acumularse en los fondos de los cuerpos de agua. Los sedimentos pueden ser transportados por el agua y contribuyen a la contaminación cuando contienen sustancias tóxicas.

3.1.2. Contaminantes Químicos

Son sustancias químicas que ingresan al humedal y causan cambios en la calidad del agua, suelo, vegetación y la vida acuática. Algunos de estos contaminantes son:

- **Exceso de nutrientes**

Presencia excesiva de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno en los cuerpos de agua superficiales causan la eutrofización, proceso que lleva al crecimiento excesivo de plantas y algas acuáticas desequilibrando el ecosistema y afectando la calidad del agua.

- **Metales pesados:** elementos químicos metálicos con alta toxicidad y densidad como el plomo, mercurio, cadmio y arsénico. Estos metales tienden a acumularse y causar graves efectos en la salud ambiental y humana.
- **Pesticidas:** sustancias químicas utilizadas para eliminar o controlar plagas en la agricultura y otras áreas. Los pesticidas pueden ser tóxicos para otros organismos y así mismo, contaminar el suelo y el agua.
- **Herbicidas:** es un tipo de pesticida que está diseñado especialmente para inhibir el crecimiento de plantas no deseadas y, de igual forma, contaminan organismos, suelos y cuerpos de agua.
- **Hidrocarburos:** compuestos químicos formados por hidrógeno y carbono presentes en el petróleo y sus derivados. Los hidrocarburos contaminan el suelo y el agua generando efectos tóxicos en los organismos vivos.

3.1.3. Contaminantes Biológicos: provienen de organismos vivos o material orgánico que puede causar una afectación negativa a otros organismos en el humedal generando enfermedades.

- **Patógenos:** microorganismos que causan enfermedades como virus, bacterias y parásitos. Los patógenos en el agua provocan infecciones y enfermedades en animales y en humanos.
- **Materia orgánica:** se origina de organismos vivos o muertos, incluyendo restos de animales y plantas, la descomposición de materia orgánica en el agua puede reducir los niveles de oxígeno y eliminar la posibilidad de vida acuática en los cuerpos de agua.

3.2. Índices de Contaminación

Los Índices de Calidad del Agua (ICA) son una medida utilizada para evaluar y representar las condiciones fisicoquímicas y biológicas del agua en diversos ecosistemas epicontinentales como ríos, humedales, lagos, arroyos y embalses.

Se fundamentan en la consideración de varios parámetros fisicoquímicos y son registrados mediante muestreo y análisis de agua, el comportamiento de parámetros físicos y químicos como el PH, turbidez, conductividad eléctrica, porcentaje de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, DBO, DQO, alcalinidad, coliformes totales, dureza y fósforo total, la concentración de sustancias químicas como nutrientes, metales pesados, sustancias orgánicas y productos químicos tóxicos.

3.2.1. Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua:

3.2.2. PH

Mide la acidez o alcalinidad de agua en una escala de 0 a 14, donde 7 es neutro, el valor 0 corresponde a muy ácido y 14 muy alcalino. Es crucial porque afecta la solubilidad y disponibilidad de nutrientes y metales en el agua según Romero, (2009). El nivel de pH que se encuentra normalmente en un humedal varía entre 6,0 y 8,5 dependiendo de la composición del suelo y la vegetación circundante.

3.2.3. Conductividad Eléctrica

Es la capacidad del agua para conducir electricidad, se mide en micro siemens por centímetro, indica la cantidad de sales disueltas con valores típicos aceptables para un humedal, se espera un promedio de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1865 $\mu\text{S}/\text{cm}$ según Heredia, (2020).

3.2.4. Turbidez

Mide la claridad del agua cuantificada en unidades nefelométricas de turbidez (UNT). Es importante porque altas concentraciones de partículas pueden afectar la vida acuática y la calidad del agua. Según Romero (2009) los humedales suelen tener turbideces que varían entre 1 NTU a 50 NTU, esto depende de la carga de sedimentos y materia orgánica que se encuentre en el cuerpo de agua.

3.2.5. Oxígeno Disuelto

Es la cantidad de oxígeno libre presente en el agua medido en miligramos por litro. Es esencial para la respiración de los organismos acuáticos. De acuerdo con lo estudiado por Romero, (2009) los niveles de OD varían entre 3 y 10 mg/L pero esto depende de la actividad biológica y la temperatura del cuerpo de agua.

3.2.6. DBO

Mide la cantidad de oxígeno que los microorganismos requieren para descomponer materia orgánica en el agua expresado en miligramos sobre litro. Es relevante, ya que indica la contaminación orgánica y según Romero (2009) los niveles de DBO en un humedal varían entre 3 y 10 mg/L, sin embargo, los niveles elevados de DBO pueden indicar contaminación orgánica excesiva y esto conlleva a condiciones anaeróbicas afectando la vida acuática negativamente.

3.2.7. DQO

Mide la cantidad de oxígeno necesario para oxidar completamente la materia orgánica e inorgánica en el agua, se representa en miligramos sobre litro. Es primordial, ya que refleja la cantidad de contaminantes presentes y, de acuerdo con lo investigado por Romero, (2009), los niveles de DQO en un humedal suelen encontrarse entre los 20 y 200 mg/L, lo que refleja la presencia de materia orgánica tanto natural como antropogénica, una alta carga de DQO indica que el humedal tiene problemas para auto purificarse por sus propios medios.

3.2.8. Solidos Disueltos Totales

Son la suma de todos los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua medidos en miligramos sobre litro. Gracias a que indica la pureza del agua corresponde a un indicador vital teniendo en cuenta que, según Romero, (2009), los

niveles de TDS que se encuentran en los humedales oscilan entre 100 y 2.000 mg/L afectando el sabor del agua y la salud de los organismos acuáticos.

3.2.9. Alcalinidad

Mide la capacidad del agua para neutralizar ácidos (Romero, 2009). Expresada en miligramos por litro de carbonato de calcio (CaCO_3) su importancia radica en que estabiliza el PH del agua, según Romero, (2009), los niveles que se encuentran en los humedales de alcalinidad están entre 20 y 200 mg/L, la alcalinidad es crucial, ya que es la que estabiliza el pH del agua y protege a los organismos acuáticos de cambios bruscos en la acidez

3.2.9. Fosforo Total

Es la suma de todas las formas de fosforo orgánico e inorgánico presentes en el agua expresadas en miligramos por litro. Según Romero, (2009), los niveles que se encuentran en los humedales oscilan entre 0,01 y 0,1 mg/L, la gestión adecuada del fosforo es vital para prevenir el crecimiento descontrolado de algas y mantener un equilibrio ecológico.

3.2.10. Dureza

Es la concentración de iones de calcio y magnesio disueltos, se mide en miligramos por litro de CaCO_3 . Según Romero, (2009), los valores que se encuentran en los humedales van desde 50 a 300mg/L. La dureza afecta la calidad del agua y la disponibilidad de nutrientes para los organismos acuáticos.

3.3. Índices de contaminación y sus correlaciones entre variables fisicoquímicas

Los índices de contaminación, como ICOTRO, ICOSUS, ICOMI e ICOMO, representan pilares fundamentales en la evaluación de la calidad del agua en ecosistemas acuáticos, siendo herramientas esenciales para comprender y gestionar la salud ambiental de estos entornos. Estos índices se basan en un conjunto de variables clave, cuidadosamente seleccionadas por su relevancia ecológica y su capacidad para reflejar la presencia y el impacto de contaminantes en el agua.

Entre estas variables se incluyen la conductividad, que revela el grado de mineralización del agua y está relacionada con la presencia de sales disueltas; los

sólidos suspendidos, que indican la presencia de partículas en suspensión y su relación con procesos erosivos y extractivos; el oxígeno disuelto, crucial para la vida acuática y afectado por la demanda bioquímica de oxígeno que refleja la cantidad de materia orgánica presente; el fósforo total, que se vincula estrechamente con la eutrofización y el exceso de nutrientes en el agua, y los coliformes totales, indicadores de contaminación fecal y sanitaria.

3.3.1. ICOMO (Índice de Contaminación por Materia Orgánica)

Es una medida utilizada para evaluar la calidad del agua centrada en la cantidad de materia orgánica presente. Se utiliza para determinar el nivel de contaminación del agua por materia orgánica haciendo uso de parámetros como la concentración de materia orgánica disuelta o suspendida en el agua.

3.3.2. ICOMI (Índice De Contaminación Por Mineralización)

Se calcula principalmente en base a parámetros relacionados con la conductividad eléctrica del agua que corresponde a una medida de la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica y está estrechamente relacionada con la cantidad de sales disueltas. El ICOMI se basa en mediciones de conductividad eléctrica y su comparación con valores de referencia para determinar el grado de mineralización y la contaminación del agua.

3.3.3. ICOTRO (Índice De Contaminación Trófico)

Es una medida utilizada para evaluar la calidad del agua centrándose en el estado trófico del cuerpo del mismo. Se utiliza específicamente para determinar el nivel de contaminación en relación con la eutrofización principalmente mediante la medición del nivel de fósforo total presente en el cuerpo de agua.

3.3.4. ICOSUS (Índice De Contaminación Por Sólidos Suspendidos)

Es una medida utilizada para evaluar la calidad del agua centrándose específicamente en la presencia de sólidos suspendidos. Se utiliza para determinar el nivel de contaminación por sólidos en suspensión como sedimentos, partículas orgánicas e inorgánicas.

3.3.5. Índice de Calidad del Agua (ICA)

Es una herramienta de evaluación que proporciona una medida numérica de la calidad general del agua en cuerpos superficiales. Se basa en la medición y análisis de varios parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se ponderan y combinan para obtener un valor compuesto. Este valor compuesto clasifica la calidad del agua en diferentes categorías desde "muy mala" hasta "buena", lo que ayuda a comprender su estado de contaminación y su aptitud para diversos usos.

3.3.6. El Índice de Calidad del Agua (ICA)

El ICA asigna un valor numérico a cada parámetro y calcula un valor compuesto que representa la calidad general del agua en una masa de agua específica. Este índice se utiliza en la gestión y monitoreo del agua para evaluar su calidad para diversos usos, incluyendo consumo humano, recreación, conservación de ecosistemas acuáticos y agricultura, así como para evaluar la efectividad de las medidas de mitigación y restauración ambiental

El ICA evalúa la calidad del agua en corrientes superficiales en una escala de 0 a 1 siendo 0 el deseado y óptimo y siendo 1 indeseable y se deben tomar acciones, considerando características fisicoquímicas y microbiológicas. Este índice clasifica la calidad del agua en cinco categorías, desde "Muy Mala" hasta "Buena", mediante la evaluación de seis variables: demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica, pH, sólidos suspendidos totales, nitrógeno total, fósforo total (proporción nitrógeno/fósforo) y oxígeno disuelto. Estas mediciones ayudan a identificar problemas de contaminación en un punto específico IDEAM, (2016).

El valor del ICA se obtiene mediante la suma ponderada de las mediciones de estas variables en estaciones de monitoreo, comparándose luego con tablas de interpretación que clasifican la calidad del agua en las cinco categorías mencionadas, asociadas a colores específicos (Rojo, naranja, amarillo, verde y azul). Esta comparación temporal facilita la interpretación, la identificación de tendencias y la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes. Además, estos valores pueden representarse en mapas, vinculándolos a la ubicación de las estaciones de monitoreo CORPONOR, (2014)

3.4. Recolección de Muestras de Agua en Cuerpos Superficiales

La recolección de muestras de agua en cuerpos superficiales es una técnica crucial para evaluar la calidad del agua y entender los procesos ecológicos y químicos en ambientes acuáticos. Según APHA, (2005) en el libro "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", los pasos para la recolección de muestras son los siguientes

3.4.1. Pasos para la recolección

- **Preparación del Equipo:**

- Antes de la recolección, todo el equipo de muestreo debe ser limpiado y acondicionado adecuadamente para evitar la contaminación de las muestras. Esto incluye botellas de muestreo, recipientes de transporte, y cualquier otro equipo utilizado en el proceso.

- **Selección del Sitio de Muestreo**

- El sitio de muestreo debe ser seleccionado de manera que represente adecuadamente el cuerpo de agua en estudio, teniendo en cuenta los criterios de selección para que demuestren una representatividad en las mediciones

- **Técnica de Muestreo**

- Las muestras deben recolectarse justo debajo de la superficie del agua, generalmente a una profundidad de 0.3 metros. Se debe evitar la inclusión de sedimentos y otros materiales que no sean representativos de la columna de agua.
- Si se utilizan botellas de muestreo, deben llenarse lentamente para evitar la entrada de aire y la volatilización de compuestos importantes. Las botellas deben cerrarse inmediatamente después de la recolección.

- **Conservación y Transporte**

- Las muestras recolectadas deben ser conservadas adecuadamente dependiendo del tipo de análisis que se realizará. Por ejemplo, para análisis

microbiológicos, las muestras deben mantenerse a 4°C y ser transportadas al laboratorio dentro de las primeras 6 horas después de la recolección.

- Los recipientes deben estar claramente etiquetados con la información necesaria, incluyendo el sitio de muestreo, la fecha y la hora de recolección, y cualquier otra observación relevante.

3.5. Definiciones conceptuales

3.5.1. Biotopo: es un área de condiciones ambientales en equilibrio o uniformes que puede desarrollar un espacio o zona para un grupo o conjunto de fauna y flora. Es una parte o unidad ecológica donde existen factores físicos que tienden a mantener una comunidad de organismos vivos.

3.5.2. RAMSAR: tiene por objetivo promover acciones nacionales y la cooperación internacional para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos. Es el único tratado global relativo al medio ambiente que se ocupa de un tipo de ecosistema en particular (RAMSAR, 2006).

3.5.3. IDEAM: el IDEAM es una institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental, que genera conocimiento, produce información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, que facilite la definición y ajustes de las políticas (IDEAM - IDEAM, s/f).

3.5.4. Estiaje: época de menor caudal de los ríos debido a la relativa escasez de precipitaciones en esta estación teniendo como consecuencia: Deshidratación de los animales Zapotlán, (2021).

3.5.5. Transición: es un período en el cual las condiciones climáticas cambian de una estación a otra. Este tipo de transición se caracteriza por la mezcla de características climáticas de las estaciones adyacentes, y puede incluir variaciones en la temperatura, la humedad, la precipitación, y otros factores meteorológicos IDEAM, (2006).

3.5.6. Lluvia: es una forma de precipitación que consiste en la caída de gotas de agua líquida desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. Se forma cuando las nubes, compuestas por pequeñas gotas de agua o cristales de hielo, se enfrían y condensan, juntándose en gotas más grandes que, debido a la gravedad, caen al suelo IDEAM, (2006).

4. METODOLOGIA

El proceso metodológico se trabaja con base en lo estipulado en la (figura 1).

Figura 1. Metodología



Fuente: Elaboración propia, 2024

4.1. RECOPIACION DE INFORMACION

En esta fase del proyecto el investigador recaba la información requerida del registro histórico de los parámetros fisicoquímicos reportados en el PMA hasta la fecha para el humedal Neuta.

Por otra parte, se realizó una revisión y análisis de artículos científicos indexados en las bases de datos (Scopus y ScienceDirect), tesis de pregrado y postgrado, para recopilar más información de registros históricos de parámetros fisicoquímicos registrados en el humedal Neuta y proyectos realizados para determinar problemas que se hayan investigado en el humedal Neuta años atrás, de esta búsqueda se determinó que su proyecto más importante fue el PMA realizado por López, (2006), donde se puede encontrar todo el componente ambiental que incluye un registro de parámetros fisicoquímicos.

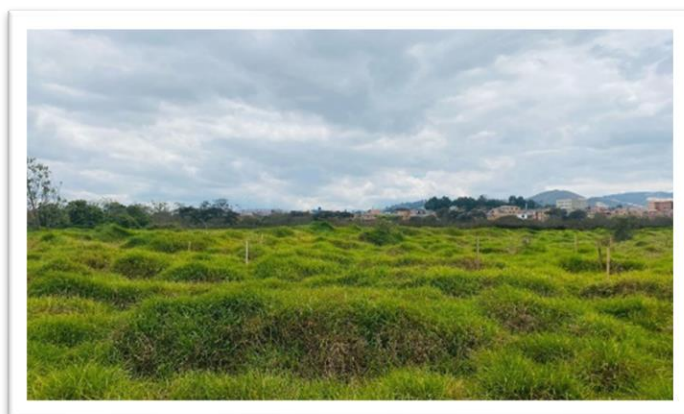
La información obtenida sobre los parámetros fisicoquímicos en el desarrollo de las actividades ya mencionadas anteriormente se seleccionó y se organizó para continuar la siguiente fase de la investigación.

4.2 FASES DE CAMPO

4.2.1. Reconocimiento del humedal y selección de puntos de muestreo

Se realizó un recorrido de reconocimiento al humedal como se evidencia en la (Figura 2), para reconocer el estado actual, identificar las entradas, salidas de agua, los puntos de vertimiento, las zonas de conservación y las zonas de mayor contaminación; visualmente se presentaban cambios de color en la lámina de agua, consecuente a ello se utilizó para establecer lineamientos y criterios de selección de puntos de muestreo, de los que se identificaron 5 puntos para caracterizar las condiciones de calidad del agua. Se realizaron diferentes tomas a nivel temporal, en las épocas de **estiaje, transición y lluvia**, en nuestro estudio diciembre es la época de estiaje, febrero la época de transición y abril nuestra época de lluvias.

Figura 2. Foto panorámica oriental del humedal Neuta



Fuente: Elaboración propia, 2024

4.3. ANALISIS ESPACIAL

Como información adicional se registraron las coordenadas geográficas de cada punto de medición y se realizó la descripción del área, de sus variables climáticas con un registro fotográfico para sustentar el lugar del punto de medición

Con los criterios expuestos y usando sistemas de información geográfica, se ubicaron las estaciones que fueron los puntos de muestreo para analizar los parámetros fisicoquímicos

4.3.1. Análisis pre-campo para la identificación de las zonas de mayor contaminación del humedal

Teniendo como base los datos recabados según se procedió a realizar la cartografía básica para elaborar un análisis para identificar los posibles puntos de muestreo y dejarlo como un pre-campo, luego de esto se describe cada estación con su ubicación y los problemas que se identificaron y que criterio cumplen para poder seleccionarlo como punto de muestreo, luego teniendo en cuenta entradas y salidas, biotopos y zonas de mayor contaminación,

En el momento del muestreo se evidenciaron ciertas anomalías que tornaron laborioso el acceso por temas sociales, los cuales dificultaron el recorrido por el humedal una de estas dificultades es la toma de fotografías ya que las prohíben rotundamente, otra fue el difícil acceso por parte de vigilancia llegando a instancias amenazantes y a su vez la accesibilidad al cuerpo de agua es de gran dificultad debido a la densa vegetación que contiene por lo tanto se infiere que no se realiza descapote hace varios meses. de igual forma otra característica clara de afectación son los biotopos debido a la presencia de las personas de la CAR y a su vez el tema de seguridad, ya que personas ajenas a la administración del humedal también lo transitan habitualmente, donde no se pueden identificar las entradas y salidas de agua del mismo, más sin embargo pese a las condiciones se logra identificar una clara presencia de actividades antrópicas y cargas de contaminantes por entrada y salida de aguas en canales de manera que dificulta determinar si son aguas pluviales o residuales

En la (Figura 3) se aprecia el entorno cerca el humedal y las residencias circundantes en esta zona en su mayoría residenciales vistas desde el software Google Earth 3D.

Figura 3. Ubicación de estaciones Google Earth 3D



Fuente: Elaboración propia, 2024

4.4. UBICACIÓN DE COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE MEDICION CARTOGRAFICAMENTE

En la (tabla 1) se enumeraron los puntos de medición con sus respectivas coordenadas.

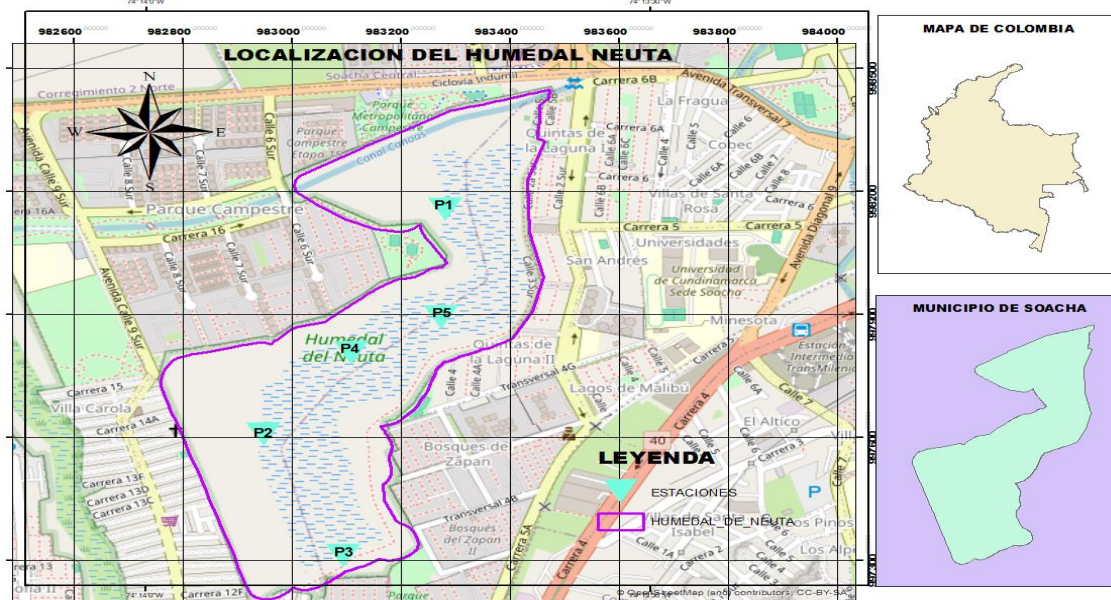
Tabla 1. Coordenadas de los puntos de medición

Numero de estación	Coordenadas	
1	4°34'46"N	74°13'41"W
2	4°34'28"N	74°13'52"W
3	4°34'18"N	74°13'47"W
4	4°34'18"N	74°13'47"W
5	4°34'37"N	74°13'41"W

Fuente: Elaboración propia, 2024

En la figura 4 se observa un mapa cartográfico del software ARGIS PRO, se realiza para identificar la zona circundante al humedal, y ubicar los puntos con coordenadas en la (tabla 1).

Figura 4. Mapa del humedal Neuta y ubicación cartográfica de las 5 estaciones de muestreo.



Fuente: (Elaboración propia, 2024)

4.5. IDENTIFICACION, Y DESCRIPCION DE CRITERIOS PARA SELECCIONAR LOS PUNTOS DE MEDICION,

A continuación, se nombra y se describe los criterios para la selección de los puntos de medición, además, la ubicación de los 5 puntos monitoreo teniendo en cuenta la accesibilidad ya que algunos componentes como la inseguridad, lugares, personas y la administración del humedal presentan algunos inconvenientes para realizar el muestreo y los criterios que se identificaron para seleccionar los puntos.

4.5.1. Criterios de selección de los puntos de medición

Es el lineamiento más importante del estudio ya que refleja las condiciones del humedal, los criterios establecidos para la selección de puntos son:

- Entrada y salidas de agua
- Biotopos
- Presencia de cargas contaminantes
- Actividades antrópicas

A continuación, se presenta la descripción de los criterios de selección para poder determinar los puntos de medición, y una tabla con la ubicación y respectiva

coordinada, la documentación fotográfica del punto de medición y los criterios que se determinan de por qué se definen esos lugares como puntos para realizar la medición.

- **Descripción de los criterios para la identificación de puntos**

- **Entrada y salidas de agua:** determinar las entradas y salidas de agua es esencial para poder determinar qué tipo de agua es la que ingresa al humedal, permitiendo determinar con las mediciones que tipo de aguas están entrando, su origen y que afectaciones está causando dentro del cuerpo de agua superficial, obteniendo una visión clara de la calidad del agua y formular medidas de mitigación efectivas
- **Biotopos:** determinar los biotopos determina la diversidad de hábitats presentes en el cuerpo de agua, permitiendo así identificar y monitorear las distintas variaciones ecológicas para poder determinar la salud del humedal y ayudar a preservar su hábitat y con ello la biodiversidad dentro de él.
- **Presencia de cargas contaminantes:** determinar la presencia de cargas contaminantes determina los factores que deterioran la calidad del agua, determinar estas zonas permite implementar acciones específicas para ver una reducción de la contaminación preservando la calidad del cuerpo hídrico y protegiendo también a la salud de las comunidades humanas.
- **Actividades antrópicas:** determinar las actividades antropogénicas permiten evaluar la influencia humana para determinar que las actividades como la disposición de residuos y cambios en el uso del suelo, es crucial para entender el impacto directo de las actividades humanas en el ecosistema, identificando las áreas más afectadas por estas actividades humanas, gestionando estrategias y mitigando efectos negativos que afectan directamente el desarrollo sostenible en el ecosistema.

4.5.2. Descripción de puntos de medición y criterios de selección hallados

- **Estación 1**

- **Ubicación:** zona más cerca del humedal al área circundante residencial de apartamentos.

Coordenadas: 4°34'46"N 74°13'41"W

Descripción: esta estación se seleccionó en el área más cercana a la zona circundante la cual pertenece a los apartamentos ubicados en esta parte cercal del humedal, se identifica la influencia de actividad antropogénica, identificando residuos como ropa, residuos sólidos regados y otros en bolsas de basura negra cerca al cuerpo de agua los cuales se puede también evidenciar que son de las viviendas ya que algunas rejas que cumplen la función de evitar que personas ajenas al humedal entren están rotas u oxidadas lo cual facilita que las personas residentes de estos conjuntos dispongan sus residuos en el humedal, cerca de este punto también se encuentran personas ajenas al humedal evidenciando que el consumo de estupefacientes y la disposición de necesidades fisiológicas se realizan dentro del humedal y cerca al cuerpo de agua exactamente en sus orillas sin embargo también en zonas cercanas a la ronda del humedal.

- **Selección del punto:** este punto se selección ya que cumple con 2 criterios de selección.
- **Presencia de cargas contaminantes:** residuos regados y otros en bolsas de basura negra lo que puede afectar a través de lixiviación el suelo y por ende llegar a afectar la calidad del agua
- **Actividades antrópicas:** Las actividades como el consumo de estupefacientes y la disposición de heces fecales dentro del humedal y el cuerpo de agua

La figura 5 adjunta, muestra la zona del humedal donde se ubica el punto de medición 1 en el humedal Neuta.

Figura 5. Foto ubicación punto de medición 1 el humedal Neuta



Fuente: Elaboración propia, 2024

- **Estación 2**

- **Ubicación:** Zona de descargas irregulares con mangueras y vegetación con crecimiento excesivo.

Coordenadas: 4°34'28"N 74°13'52"W

Descripción: Esta estación se seleccionó debido a la identificación visual de mangueras que salen de los apartamentos de los conjuntos residenciales circundantes a la zona del humedal y también por ver el excesivo crecimiento de plantas acuáticas, no se logra identificar en esta inspección visual que residuos se están disponiendo a través de estas mangueras, ni tampoco la razón de por qué estas conexiones irregulares no han sido un caso de investigación, ya que se puede evidenciar 4 conexiones de mangueras que se dirigen desde el conjunto residencial hasta el cuerpo de agua del humedal, las personas encargadas de la administración del humedal que son funcionarios de la CAR no brindan ningún tipo de información frente a estas conexiones, se determinó por parte de los investigadores de este estudio visualmente que la sobrecarga de materia orgánica puede conllevar a un proceso de eutrofización y debido a esto este exceso de nutrientes promueve el crecimiento de plantas acuáticas y según (Boyd, 2019) esto puede desbalancear el ecosistema del humedal y se toma como un criterio para seleccionar y tomar mediciones en este punto.

Selección del punto:

- **Salidas y entradas de agua:** Conexiones irregulares con mangueras las cuales se dirigen desde las viviendas hasta el humedal.
- **Biotopo:** humedal con vegetación acuática excesiva que caracteriza un agua con excesiva carga orgánica.

La figura 6 adjunta, muestra la zona del humedal donde se ubica el punto de medición 2 en el humedal Neuta.

Figura 6. Foto ubicación punto de medición 2 del humedal Neuta



Fuente: Elaboración propia, 2024

▪ Estación 3

- **Ubicación:** Cerca de una zona de desembocadura de aguas pluviales.

Coordenadas: 4°34'18"N 74°13'47"W

Descripción: esta estación se identificó en una zona donde convergen varios afluentes hacia el humedal, incluyendo aguas pluviales y residuales urbanas. Estas indican una afluencia de contaminantes provenientes+ de aguas pluviales, pero llegan contaminadas, ya que en esta parte del humedal hay una conexión donde se acumulan basuras, y esta agua que llega está contaminada con lixiviados, materia orgánica y demás. Por su fácil acceso se toma el punto, ya que por temas sociales esa pequeña zona esta supervisada por un guarda de seguridad de la CAR. Se evidencia también vegetación de junco y pasto, lo cual es clave para identificar punto del desarrollo de vida acuática.

Selección del punto: este punto se selección ya que cumple con 2 criterios de selección.

- **Presencia de carga de contaminantes:** como en varios puntos, en esta zona se evidencia materiales orgánicos y sólidos, arrojados por la comunidad aledaña hacia el humedal.
- **Biotopo:** humedal con vegetación acuática excesiva de juncos, que caracteriza un punto estratégico para desarrollo de organismos vivos.

La figura 7adjunta, muestra la zona del humedal donde se ubica el punto de medición número 3 en el humedal Neuta.

Figura 7. Foto ubicación punto de medición 3 del humedal Neuta



Fuente: Elaboración propia, 2024

▪ **Estación 4**

- **Ubicación:** zona de descarga de aguas y descapote con técnica quema controlada.

Coordenadas: 4°34'18"N 74°13'47"W

Descripción: esta estación se seleccionó en un área caracterizada donde hay una canal que puede ser de aguas pluviales o aguas residuales pero se desconoce su origen y también por un descapote que se realiza teniendo la apreciación que cuando llegamos a este punto no había ninguna persona de la administración del humedal el cual es la CAR en su momento aun había zonas de esta franja donde se realizó el descapote donde aún se podía apreciar que había fuego, Se observó la presencia de acumulación de sedimentos y residuos sólidos como ropa de personas las cuales entran al humedal y dejan esto en esta zona donde se ubica el punto de medición, también muebles viejos, colchones, entre otros y también teniendo en cuenta visualmente donde se encuentran bastantes cambuches de personas ajenas al humedal que viven dentro de él y hacen sus necesidad fisiológicas y cocinan a través de fogatas.

Selección del punto: este punto se selección ya que cumple con 2 criterios de selección.

- **Salidas y entradas de agua:** identificación de canal de aguas la cual no se logra determinar si son aguas pluviales o residuales, pero es una entrada.

- **Presencia de cargas contaminantes:** acumulación de sedimentos y residuos sólidos

La figura 8 adjunta, muestra la zona del humedal donde se ubica el punto de medición número 4 en el humedal Neuta.

Figura 8. Foto ubicación punto de medición 4 del humedal Neuta



Elaboración propia, 2024

- **Estación 5**
 - **Ubicación:** zona de transición entre el humedal y la zona urbana, con descarga de aguas a través de tubos

Coordenadas: 4°34'37"N 74°13'41"W

Descripción: Esta estación está en un área donde el humedal se encuentra circundante con vegetación como arbustos y árboles. No hay conexiones de mangueras al humedal y tampoco se encuentra gente externa del humedal rondando en esta zona lo cual también facilito la toma de muestras. Por tener un acceso fácil se deduce tomar el punto, el cual tenía una lámina de agua muy mínima, pero perfecta para la toma de muestras y también se evidencia un tubo color naranja que sale por debajo del suelo cerca a este punto donde se hacen descargas, pero se desconoce qué tipo de agua sale por él.

Selección del punto: este punto se selección ya que cumple con 2 criterios de selección:

- **Biotopo:** humedal con vegetación acuática excesiva de pastos altos y verdes, que caracteriza un punto estratégico para el control de inundaciones, secuestro de carbono y estabilidad del suelo previniendo la erosión.
- **Salidas y entradas de agua:** se evidencia un tubo que sale directamente al cuerpo de agua cerca del punto por el cual se hace descarga al cuerpo hídrico

La figura 9 adjunta, muestra la zona del humedal donde se ubica el punto de medición número 5 en el humedal Neuta.



Fuente: Elaboración propia, 2024

4.6. TOMA DE DATOS

Con el multiparámetro (HANNA de referencia HI 9829), el cual se muestra en la (figura 10); se realizaron las mediciones en los 5 puntos de medición, con la finalidad de caracterizar las condiciones fisicoquímicas del agua a nivel espacial en el humedal de Neuta, teniendo en cuenta que con el equipo se tomaron solo los parámetros como el: **pH**, oxígeno **disuelto**, **sst**, **conductividad** eléctrica y los parámetros como alcalinidad, coliformes totales, dureza y fósforo se tomaron unas muestras de agua confinadas con tiempo límite de 24 horas según lo indicado por APHA, (2006) y se enviaron al laboratorio HIDROLAB S.AS, las evidencias de los resultados obtenidos se encuentran en un archivo de Excel que pertenece a los anexos (H Resultados Parámetros LAB), estos parámetros no los registra la sonda multiparamétrica y debido a esto se enviaron a realizar un análisis en un laboratorio especializado en análisis de muestras de aguas superficiales.

Figura 10. Multiparámetro Sonda GPS de referencia (HANNA HI 9829)



Fuente: Elaboración propia, 2024

El proceso de recolección de muestras de agua y la cadena de custodia para enviarlas al laboratorio se realizó según lo estipulado por APHA (2005), capítulo 1060 "Collection and Preservation of Samples". A continuación, se describe el procedimiento llevado a cabo para la recolección de muestras de agua destinadas a la medición en laboratorio de los siguientes parámetros fisicoquímicos: alcalinidad, coliformes totales, dureza, fósforo total, DQO y DBO. Estas muestras fueron enviadas al laboratorio HIDROLAB, ya que con el multiparámetro de referencia HANNA, HI 9829, no se pueden tomar mediciones de los parámetros mencionados anteriormente. A continuación, se detalla cómo se realizó la recolección de muestras en el humedal Neuta, basándose en el libro "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" de APHA (2005).

4.6.1. Recolección de Muestras de Agua en el Humedal para análisis de laboratorio

Para garantizar la precisión y confiabilidad de los datos, se siguieron los pasos recomendados por el "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" APHA, (2005) durante la recolección de muestras de agua en el humedal.

4.6.2. Pasos para la recolección de muestras

▪ Preparación del Equipo

- Antes de salir al campo, todo el equipo de muestreo, incluyendo botellas de muestreo y recipientes de transporte, fue meticulosamente limpiado y acondicionado para evitar la contaminación de las muestras.

▪ Selección del Sitio de Muestreo

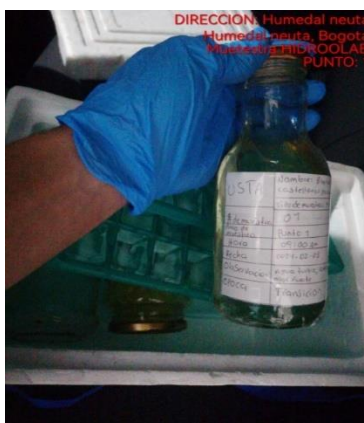
- Se seleccionaron sitios representativos del humedal, evitando áreas con perturbaciones locales significativas. Utilizando un GPS, se registraron las coordenadas exactas de cada punto de muestreo.

▪ Técnica de Muestreo

- Al llegar al sitio de muestreo, se procedió a la recolección de muestras justo debajo de la superficie del agua, aproximadamente a una profundidad de 0.3 metros, asegurándose de evitar la inclusión de sedimentos y materiales no representativos.

- Las botellas de muestreo se llenaron lentamente para minimizar la entrada de aire y la volatilización de compuestos importantes. Inmediatamente después de la recolección, las botellas se cerraron herméticamente.

Figura 11. Botella en vidrio para toma de muestra.



Fuente: Elaboración propia, 2024

▪ **Conservación y Transporte**

- Las muestras recolectadas se conservaron a 4°C utilizando una nevera portátil y se transportaron al laboratorio en un período máximo de 6 horas, siguiendo las recomendaciones para análisis microbiológicos y químicos.

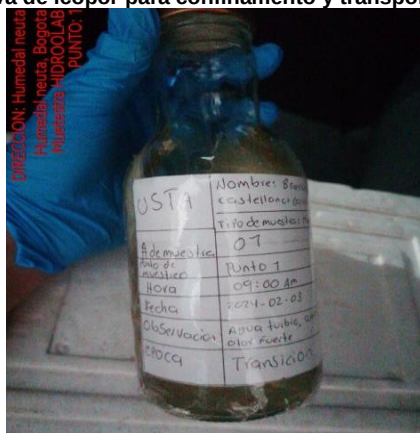
Figura 12. Cava de icopor para confinamiento y transporte de muestra.



Fuente: Elaboración propia, 2024

- Cada recipiente de muestra fue etiquetado claramente con la información del sitio de muestreo, fecha, hora de recolección y observaciones relevantes.

Figura 13. Cava de icopor para confinamiento y transporte de muestra.



Fuente: Elaboración propia, 2024

▪ **Registro y Documentación**

Se mantuvo un registro detallado de las actividades de muestreo. Esto incluyó la fecha, ubicación exacta del muestreo (coordenadas GPS), condiciones ambientales, y observaciones adicionales pertinentes que se deban tener en cuenta.

5. FASE DE CÁLCULOS Y RESULTADOS

5.1 Resultados de la recopilación de datos de precipitación

A continuación, se presenta los datos de precipitación mensual extraídos de la estación Granja San Jorge - Cuenca río Soacha Código 21205720 IDEAM activa hasta el momento en la tabla 2, es la estación que se encuentra más cercana al humedal Neuta, las precipitaciones son un factor clave que influye en la dinámica hídrica y ecológica de los cuerpos de agua superficiales

Tabla 2. Registro de datos (Precipitación mensual) tomados del IDEAM

PRECIPITACION MENSUAL IDEAM 2023 - 2024	
Fecha	Valor
DICIEMBRE ESTIAJE	39,2
FEBRERO TRANSICION	72,3
ABRIL LLUVIA	87,8

Fuente: Elaboración propia, 2024

5.2. Resultados de la recopilación de los parámetros fisicoquímicos.

En esta sección se presenta la tabla 3, la cual recopila todos los datos de parámetros fisicoquímicos por punto de medición y época. Estos datos son el resultado de las mediciones en campo y de los análisis de laboratorio realizados por HIDROLAB. Se han organizado en 15 tablas, con 5 tablas correspondientes a cada época, donde se registran 10 parámetros cada una. La tabla 3 muestra los datos del punto 1 durante la época de estiaje. Las demás tablas de los diferentes puntos y épocas están disponibles en su totalidad en los anexos (A, B y C).

Tabla 3. Registro de datos (Parámetros Fisicoquímicos) tomados en campo punto de medición número 1 época estiaje.

DATOS PUNTO #1 - EPOCA ESTIAJE	
Parámetros	Datos
PH	7,93
Oxígeno disuelto	0
SST	11,2
CE	2767
DBO	78
Alcalinidad	44

C. Totales	57
Dureza	28
Fosforo Total	0,05
DQO	35

Fuente: Elaboración propia, 2024

5.3.1 Datos de Parámetros Fisicoquímicos Recopilados.

Luego de recopilar todos los datos de los parámetros fisicoquímicos tomados en campo, presentados en la (tabla 3), se organizaron en tablas individuales para cada parámetro, como se muestra en las (tablas 4 a 13). Esta organización facilita la representación gráfica en la (sección 6 análisis de resultados) y permite el análisis del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos. A continuación, se detalla cada parámetro junto con su tabla respectiva, donde se recopilaron los resultados de las mediciones realizadas en el humedal Neuta.

5.3.2. pH (Potencial de Hidrógeno)

A continuación, se presentan los niveles de pH registrados en los puntos de medición durante los meses de diciembre, febrero y abril, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Recopilación datos del pH del agua.

PH		DIC	FEB	ABRIL
	Punto 1	7.93	7.48	7.51
	Punto 2	7.88	7.56	7.44
	Punto 3	7.53	8.6	7.52
	Punto 4	7.47	7.48	7.53
	Punto 5	7.9	8.5	7.49

Fuente: Elaboración propia, 2024

5.3.3. Oxígeno Disuelto

La recopilación de los datos de la (tabla 5) del parámetro fisicoquímico de oxígeno disuelto, no se puede expresar gráficamente ya que sus resultados en todas los puntos y épocas da un valor de 0, su comportamiento no es representativo gráficamente, pero si presenta representatividad para su análisis.

Tabla 5. Recopilación datos de oxígeno disuelto.

		DIC	FEB	ABRIL
OXIGO DISUELTO	Punto 1	0	0	0
	Punto 2	0	0	0
	Punto 3	0	0	0
	Punto 4	0	0	0
	Punto 5	0	0	0

Fuente: Elaboración propia, 2024

5.3.4. Conductividad

A continuación, se presentan los niveles de conductividad eléctrica registrados en los puntos de medición durante los meses de diciembre, febrero y abril, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Recopilación datos de conductividad.

		DIC	FEB	ABRIL
CE	Punto 1	2767	3089	2924
	Punto 2	2605	3066	462
	Punto 3	3079	2933	2940
	Punto 4	3082	3084	1368
	Punto 5	3077	3031	2995

Fuente: Elaboración propia, 2024

5.3.5. SST (solidos suspendidos totales)

A continuación, se presentan los niveles de sólidos suspendidos totales registrados en los puntos de medición durante los meses de diciembre, febrero y abril, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Recopilación datos de solidos suspendidos totales

		DIC	FEB	ABRIL
SST	Estacion1	11.2	18.2	12.5
	Estacion2	9.8	8.2	23.4
	Estacion3	16.7	15.3	14.5
	Estacion4	5.8	10	19.4
	Estacion5	18.7	15.15	11.26

Fuente: Elaboración propia, 2024

5.3.6. DBO (demanda biológica de oxígeno)

A continuación, se presentan los niveles de demanda bioquímica de oxígeno registrados en los puntos de medición durante los meses de diciembre, febrero y abril, como se muestra en la (tabla 8).

Tabla 8. Recopilación datos de demanda biológica de oxígeno

DBO		DIC	FEB	ABRIL
	Punto 1	7.8	1.5	4
	Punto 2	8.9	2.2	3.5
	Punto 3	9.7	3	4.2
	Punto 4	10.2	1.8	3.8
	Punto 5	8.8	2.5	3.9

Fuente: Elaboración propia, 2024

5.3.7. Alcalinidad

A continuación, se presentan los niveles de alcalinidad registrados en los puntos de medición durante los meses de diciembre, febrero y abril, como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Recopilación datos de alcalinidad

ALCALINIDAD		DIC	FEB	ABRIL
	Punto 1	44	44	44
	Punto 2	49	49	49
	Punto 3	33	33	33
	Punto 4	278	278	278
	Punto 5	41	41	41

Fuente: Elaboración propia, 2024

5.3.8. Coliformes Totales

A continuación, se presentan los niveles de coliformes totales registrados en los puntos de medición durante los meses de diciembre, febrero y abril, como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Recopilación datos de coliformes totales

COLIFORMES TOTALES		DIC	FEB	ABRIL
	Punto 1	57	516	1200
	Punto 2	88	750	1100

Punto 3	64	600	1000
Punto 4	57	1000	1300
Punto 5	89	850	1150

Fuente: Elaboración propia, 2024

5.3.9. Dureza

A continuación, se presentan los niveles de dureza registrados en los puntos de medición durante los meses de diciembre, febrero y abril, como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Recopilación datos de dureza

DUREZA		DIC	FEB	ABRIL
	Punto 1	28	22	270
	Punto 2	22	250	260
	Punto 3	130	240	280
	Punto 4	17	260	250
	Punto 5	122	230	275

Fuente: Elaboración propia, 2024

5.3.10. Fósforo Total:

A continuación, se presentan los niveles de fósforo total registrados en los puntos de medición durante los meses de diciembre, febrero y abril, como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Recopilación datos de fosforo total

FOSFORO TOTAL		DIC	FEB	ABRIL
	Punto 1	0.05	0.12	0.2
	Punto 2	0.15	0.15	0.18
	Punto 3	0.1	0.1	0.22
	Punto 4	0.08	0.18	0.17
	Punto 5	0.2	0.13	0.19

Fuente: Elaboración propia, 2024

5.3.11 DQO (demanda química de oxígeno):

A continuación, se presentan los niveles de demanda química de oxígeno registrados en los puntos de medición durante los meses de diciembre, febrero y abril, como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Recopilación datos de DQO

		DIC	FEB	ABRIL
DQO	Punto 1	32	34	34
	Punto 2	28	27	38
	Punto 3	32	31	35
	Punto 4	25	26	23
	Punto 5	30	29	38

Fuente: Elaboración propia, 2024

5.4. Cálculo y resultados de los índices de contaminación.

Los índices de los parámetros fisicoquímicos fueron calculados según Gonzales (1998), páginas 42 y 43. Estas páginas detallan las expresiones matemáticas, o fórmulas, para obtener los valores de los índices a través de las ecuaciones (1 al 9). Estas ecuaciones explican cómo calcular los índices específicos para parámetros como conductividad, dureza, alcalinidad, coliformes totales, DBO, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos y fósforo total.

Todos estos parámetros fisicoquímicos son variables en las ecuaciones para determinar los índices de contaminación, excepto el fósforo total. Según Gonzales (1998), página 43, el valor de este parámetro se obtiene directamente de un rango establecido en la Tabla 3, que categoriza el índice al que pertenece este parámetro fisicoquímico.

Al calcular estos valores, se puede determinar el valor de cada índice de contaminación, los cuales varían en un rango de 0 a 1, como lo especifica Gonzales (1998), página 39. Este rango define el grado de calidad del cuerpo de agua bajo investigación. Los índices de contaminación incluyen ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOTRO y ICA.

A continuación, se muestran las ecuaciones de como calcular los índices de los parámetros fisicoquímicos anteriormente mencionados, sus generalidades de que valor asignar si los valores tomados se encuentran en un rango determinado y las ecuaciones para calcular de los índices de contaminación.

5.4.1. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Para este índice se debe realizar los cálculos de los índices de los parámetros fisicoquímicos los cuales son: (índice de conductividad, índice de dureza y índice de alcalinidad) los cuales se obtienen de las siguientes expresiones.

▪ Índice de conductividad

La expresión que se muestra en la ecuación 1, es la ecuación del índice del parámetro fisicoquímico de conductividad, calculo que es necesario para remplazar en la ecuación del índice ICOMI y para determinar su valor.

Ecuación 1. índice del parámetro conductividad extraído de libro de Limnología colombiana 1998

$$\log_{10} I. Conductividad = -3,26 + 1,34 \log_{10} . Conductividad \left(\mu \frac{S}{cm} \right)$$

$$I. Conductividad = 10^{\log . I. Conductividad}.$$

Fuente: Elaboración propia, 2024

▪ Índice de dureza

La expresión que se muestra en la ecuación 2, es la ecuación del índice del parámetro fisicoquímico de dureza, calculo que es necesario para remplazar en la ecuación del índice ICOMI y para determinar su valor.

Ecuación 2. índice del parámetro dureza extraído de libro de Limnología colombiana 1998

$$\log_{10} I. Dureza = -9,09 + 4,40 \log_{10} . Dureza \left(\frac{mg}{l} \right)$$

$$I. Dureza = 10^{\log . I. Dureza}.$$

Fuente: Elaboración propia, 2024

▪ Índice de alcalinidad

La expresión que se muestra en la ecuación 3, es la ecuación del índice del parámetro fisicoquímico de alcalinidad, en esta se determinan que si los valores de alcalinidad son mayores o menores a los valores que se indica en la (ecuación 3) automáticamente se determina su valor en 0 para menores y 1 para mayores.

Ecuación 3. índice del parámetro alcalinidad extraído de libro de Limnología colombiana 1998

$$I. Alcalinidad = -0,25 + 0,005 . Dureza \left(\frac{mg}{l} \right)$$

$$Alcalinidades mayores a 250 \left(\frac{mg}{l} \right) \text{ tienen un indice de alcalinidad} = 1$$

$$Alcalinidades menores a 50 \left(\frac{mg}{l} \right) \text{ tienen un indice de alcalinidad} = 0$$

Fuente: Elaboración propia, 2024

Luego obtener los valores de los índices de parámetros fisicoquímicos ya pueden ser remplazados en la formula del índice de contaminación ICOMI (ecuación 4), y así obtener el valor del índice ICOMI.

Ecuación 4. Calculo índice de contaminación ICOMI extraído de libro de Limnología colombiana 1998

$$ICOMI = \frac{1}{3} \cdot (I. Conductividad + I. Dureza + I. Alcalinidad)$$

Fuente: Elaboración propia, 2024

A continuación, se presentan los resultados calculados del índice de contaminación ICOMI en la tabla 14 para cada estación y mes evaluado.

Tabla 14. Resultados índices ICOMI

		DIC	FEB	ABRIL
ICOMI	Punto 1	0,3	0,88	0,9
	Punto 2	0,3	0,85	0,9
	Punto 3	0,7	0,88	0,9
	Punto 4	0,7	0,92	1
	Punto 5	0,7	0,87	0,9

Fuente: Elaboración propia, 2024

5.4.2. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Para este índice se debe realizar los cálculos de los índices de los parámetros fisicoquímicos los cuales son: (índice de DBO, índice de coliformes totales y índice de % de oxígeno) los cuales se obtienen de las siguientes expresiones.

▪ Índice de DBO

La expresión que se muestra en la (ecuación 5), es la ecuación del índice del parámetro fisicoquímico de DBO, calculo que es necesario para remplazar en la ecuación del índice ICOMO y para determinar su valor en esta se determinan que si los valores de DBO son mayores o menores a los valores que se indica en la ecuación 5 automáticamente se determina su valor en 0 para menores y 1 para mayores

Ecuación 5. índice del parámetro DBO extraído de libro de Limnología colombiana 1998

$$I. DBO = -0,05 + 0.70 \log_{10} \cdot DBO \left(\frac{mg}{l} \right)$$

DBO mayores a 30 $\left(\frac{mg}{l} \right)$ tienen un índice de DBO = 1

DBO menores 30 $\left(\frac{mg}{l} \right)$ tienen un índice de DBO = 0

Fuente: Elaboración propia, 2024

▪ Índice de coliformes totales

La expresión que se muestra en la (ecuación 6) es la ecuación del índice del parámetro fisicoquímico de coliformes totales. Este cálculo es necesario para reemplazarlo en la ecuación del índice ICOMO y para determinar su valor. En esta se determina que, si los valores de los coliformes totales son mayores o menores a los valores que se indican en la (ecuación 6), automáticamente se establece su valor en 0 para menores y 1 para mayores.

Ecuación 6. índice del parámetro coliformes totales extraído de libro de Limnología colombiana 1998

$$I. \text{ Coliformes totales} = -1,44 + 0.56 \log_{10} \cdot \text{Coliformes totales} \left(\frac{NMP}{100ml} \right)$$

$$\text{Col. totales mayores a } 20.000 \left(\frac{NMP}{100ml} \right) \text{ tienen un índice de DBO} = 1$$

$$\text{Col. totales menores a } 500 \left(\frac{NMP}{100ml} \right) \text{ tienen un índice de DBO} = 0$$

Fuente: Elaboración propia, 2024

▪ Índice de % Oxígeno Disuelto

La expresión que se muestra en la (ecuación 7), es la ecuación del índice del parámetro fisicoquímico de % Oxígeno Disuelto, calculo que es necesario para remplazar en la ecuación del índice ICOMO y para determinar su valor en esta se determinan que si los valores de % Oxígeno Disuelto son mayores al 100% como se indica en la (ecuación 7) automáticamente se determina su valor en 0

Ecuación 7. índice del parámetro % oxígeno extraído de libro de Limnología colombiana 1998

$$I. \% \text{ Oxígeno} = 1 - 0.01 \cdot \text{oxígeno} \%$$

$$\text{Oxígeno \% mayores a } 100 \% \text{ tienen un índice de \% oxígeno} = 0$$

Fuente: Elaboración propia, 2024

Luego de realizar los cálculos y obtener los valores de los índices de parámetros fisicoquímicos ya pueden ser remplazados en la formula del índice de contaminación ICOMO que se muestra en la Ecuación 8 y así obtener el valor del índice ICOMO.

Ecuación 8. Calculo índice de contaminación ICOMO extraído de libro de Limnología colombiana 1998

$$ICOMO = \frac{1}{3} \cdot (I.DBO + I. \text{Coliformes totales} + I. \text{Oxígeno} \%)$$

Fuente: Elaboración propia, 2024

A continuación, se presentan los resultados calculados del índice de contaminación ICOMO en la (tabla 15) para cada estación y mes evaluado.

Tabla 15. Resultado índice ICOMO

		DIC	FEB	ABRIL
ICOMO	Punto 1	0,67	0,36	0,76
	Punto 2	0,66	0,45	0,54
	Punto 3	0,66	0,46	0,52
	Punto 4	0,66	0,41	0,56
	Punto 5	0,66	0,47	0,54

Fuente: Elaboración propia, 2024

5.4.3. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

Para calcular este índice de contaminación, se utiliza directamente la (ecuación 9). Este índice no requiere el cálculo específico del índice para los sólidos suspendidos, ya que el valor del parámetro fisicoquímico se sustituye directamente en la (ecuación 9). Según Gonzales (1998), si el valor medido de los sólidos suspendidos es mayor o menor que el valor indicado en la (ecuación 9), se asignará un valor de 0 o 1, respectivamente como indica la ecuación.

Ecuación 9. Cálculo índice de contaminación ICOSUS extraído de libro de Limnología colombiana 1998.

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 \cdot \text{Sólidos suspendidos} \left(\frac{mg}{L} \right)$$

$$\text{Sólidos suspendidos mayores a } 340 \left(\frac{mg}{l} \right) \text{ tienen un } ICOSUS = 1$$

$$\text{Sólidos suspendidos menores a } 10 \left(\frac{mg}{l} \right) \text{ tienen un } ICOSUS = 0$$

Fuente: Elaboración propia, 2024

5.4.4. Índice de contaminación trófico (ICOTRO)

Para este índice, se revisan los valores de los datos obtenidos en las mediciones de fósforo total, que se encuentran en la sección de resultados (sección 5.1) en la (tabla 12). Estos valores se categorizan según la (tabla 16), la cual, según Gonzales (1998), determina la clasificación basada en el rango en el que se encuentre el valor. En este índice de contaminación, no se aplica ninguna expresión o ecuación matemática.

Tabla 16. Tabla de rangos calificación del índice ICOTRO según el nivel de fosforo.

ICOTRO SEGÚN EL NIVEL DE FOSFORO	
Nombre	Valor
Oligotrófica	<0.1 (mg/l)
Mesotrófica	0.01-0.02 (mg/l)
Eutrofia	0.02-1.00 (mg/l)
Hipertrofia	>1.00 (mg/l)

Fuente: Elaboración propia, 2024

A continuación, se presentan los resultados calculados del índice de contaminación ICOTRO en la tabla 17 para cada estación y mes evaluado.

Tabla 17. Resultados índices ICOTRO

ICOTRO		DIC	FEB	ABRIL
	Punto 1	0.05	0.12	0.2
	Punto 2	0.15	0.15	0.18
	Punto 3	0.1	0.1	0.22
	Punto 4	0.08	0.18	0.17
	Punto 5	0.2	0.13	0.19

Fuente: Elaboración propia, 2024

5.4.5. Índice de Calidad del agua (ICA)

Para este índice, se utiliza la Tabla 19 según Gonzales (1998), páginas 44 y 45, que detalla cómo calcular los índices para los parámetros fisicoquímicos y luego se remplazan en la ecuación del ICA para obtener su valor.

- **Tabla de valores de ponderación:** La (tabla 18) muestra los valores de ponderación que se utilizan dentro de la fórmula del ICA. Estas ponderaciones reflejan la importancia de cada parámetro en la determinación de la calidad del agua y juegan un papel fundamental en la ecuación.

Tabla 18. Tabla de variables, unidades de medida y ponderación para el cálculo del ICA.

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	PONDERACION
Oxígeno disuelto OD	% saturación	0,17
Solidos suspendidos totales SST	mg/l	0,17

Demanda química de oxígeno DQO	mg/l	0,17
NT/PT	-	0,17
CE	us/cm	0,17
pH	Unidades de pH	0,15

Fuente: Elaboración propia, 2024

La (tabla 18) muestra las expresiones o ecuaciones matemáticas utilizadas para calcular los valores de los índices de los parámetros fisicoquímicos. Estos valores se sustituyen luego en la fórmula de cálculo del ICA.

Tabla 19. Tabla índice de variables con ecuación y resultados de la investigación.

VARIABLE	CALCULO
Oxígeno disuelto IOD	$IOD = 1 - (1 - 0,01 + OD)$
Sólidos suspendidos totales I SST	$Isst = 1 - (-0,02 + 0,003 * SST)$
Demanda química de oxígeno DQO	$25 < DQO < 40$, entonces $IDQO = 0,51$
Fosforo Total	$NT/PT < 5$, entonces $0,15$
Conductividad eléctrica CE	$ICE = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \log 10 CE)}$
pH	$7 < pH < 8$, entonces $IpH = 1$

Fuente: Elaboración propia, 2024

Luego de obtener cada valor de los índices de los parámetros fisicoquímicos aplicando las fórmulas que se muestra en la (tabla 19), se calcula el valor del ICA remplazando en la ecuación 9y teniendo en cuenta los valores de ponderación de la (tabla 18).

Ecuación 9. Calculo índice de calidad del agua (ICA) extraído de libro de Limnología colombiana 1998.

$$ICA = 0,17 \cdot IOD + 0,17 \cdot ISST + 0,17 \cdot IDQO + 0,17 \cdot \frac{INT}{PT} + 0,17 \cdot ICE + 0,15 \cdot IpH$$

Fuente: Elaboración propia, 2024

A continuación, se presentan los resultados calculados del índice de calidad del agua en la (tabla 19) para cada estación y mes evaluado.

Tabla 20. Resultado índice ICOMI

		DIC	FEB	ABRIL
ICA	Punto 1	0,595	0,591	0,594
	Punto 2	0,629	0,596	0,59
	Punto 3	0,592	0,592	0,593
	Punto 4	0,597	0,595	0,591
	Punto 5	0,591	0,592	0,594

Fuente: Elaboración propia, 2024

6. ANALISIS DE RESULTADOS

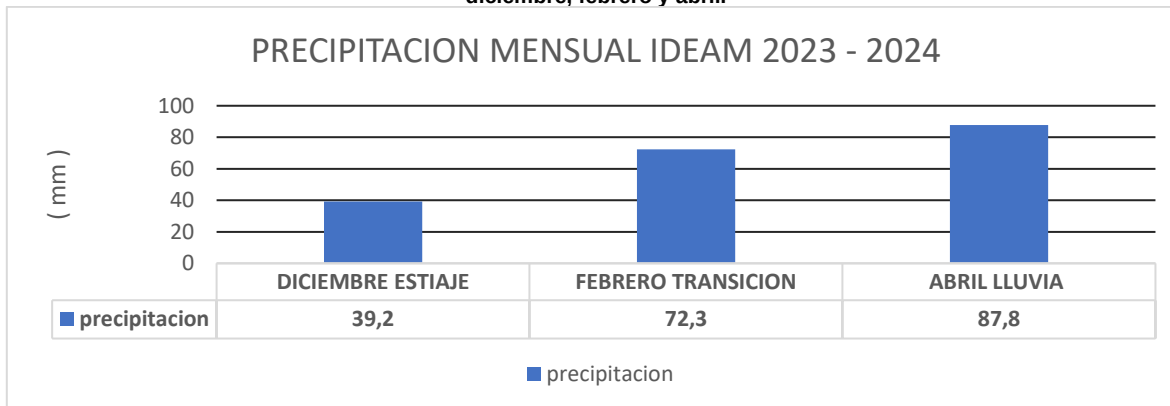
El estudio de las condiciones fisicoquímicas del agua en el humedal de Neuta es importante para comprender su estado ambiental y su capacidad para sustentar la biodiversidad ya que, por su falta de investigaciones, planes de manejo ambiental y administración de este. Se establece como objetivo el análisis de parámetros como el pH, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales (SST), dureza, alcalinidad, DBO, DQO, coliformes totales, contribuyendo a formular estrategias efectivas de gestión y conservación, teniendo en cuenta que se realiza un análisis llevando a cabo lo que compone el libro de Calidad del Agua de Romero, (2009)

6.1. Análisis de Precipitación

Es la recopilación representada en gráficos de barras en base a los datos mensuales de precipitación suministrados en datos públicos del IDEAM, en el perímetro que rodea el humedal Neuta, ubicado en el municipio de Soacha se encuentran 2 estaciones climáticas, las cuales son: Estación Doña Juana - Cuenca río Tunjuelo Código 2120630 inactiva desde 1999, Estación Granja San Jorge - Cuenca río Soacha Código 21205720 activa hasta el momento. (IDEAM - IDEAM, s/f).

Por ende, se usan los datos mensuales de Granja san Jorge, única estación activa. Para el mes de diciembre se presenta una época de estiaje por el bajo nivel en mm (milímetros) a comparación de los otros meses expuestos. Para el mes de febrero siendo el mes que a nivel de precipitación se ubica en la mitad es catalogado época de transición por el cambio de mayor nubosidad y fuertes vientos. En abril se cataloga el mes de lluvia por ser el dato más alto. Además, hay altos eventos de lluvia como se muestra en la figura 11.

Figura 14. Precipitación de datos mensuales del IDEAM desde el año 2023 hasta el año 2024, para los meses de diciembre, febrero y abril.



Fuente: (Elaboración propia, 2024)

6.2. Análisis de resultados parámetros fisicoquímicos correlacionados

6.2.1. Análisis Estadístico

El presente análisis estadístico de las correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos en el humedal Neuta es fundamental para entender las dinámicas que afectan la calidad del agua en diferentes épocas del año. Este estudio se basa en un enfoque riguroso que combina el análisis estadístico, asumiendo o no la normalidad de los datos.

La matriz de correlación mapa de calor realizado con el método Pearson, indica en los colores una fuerza y así mismo la dirección de la relación entre las variables, donde los valores cercanos a 1 indican una correlación positiva, mientras que los valores cercanos a -1 indican una correlación totalmente negativa. Es importante tener en cuenta que los valores cercanos a 0 sugieren una relación inexistente teniendo en cuenta que el proceso para realizar la estadística descriptiva fue el siguiente:

- Descripción del Proceso Estadístico

El análisis de correlación se llevó a cabo en dos etapas diferenciadas para identificar la relación entre los diferentes parámetros fisicoquímicos del humedal Neuta, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson, el cual varía entre -1 y 1, indicando la fuerza y dirección de la relación entre dos variables.

- **Primera Etapa: Correlación Asumiendo Normalidad**

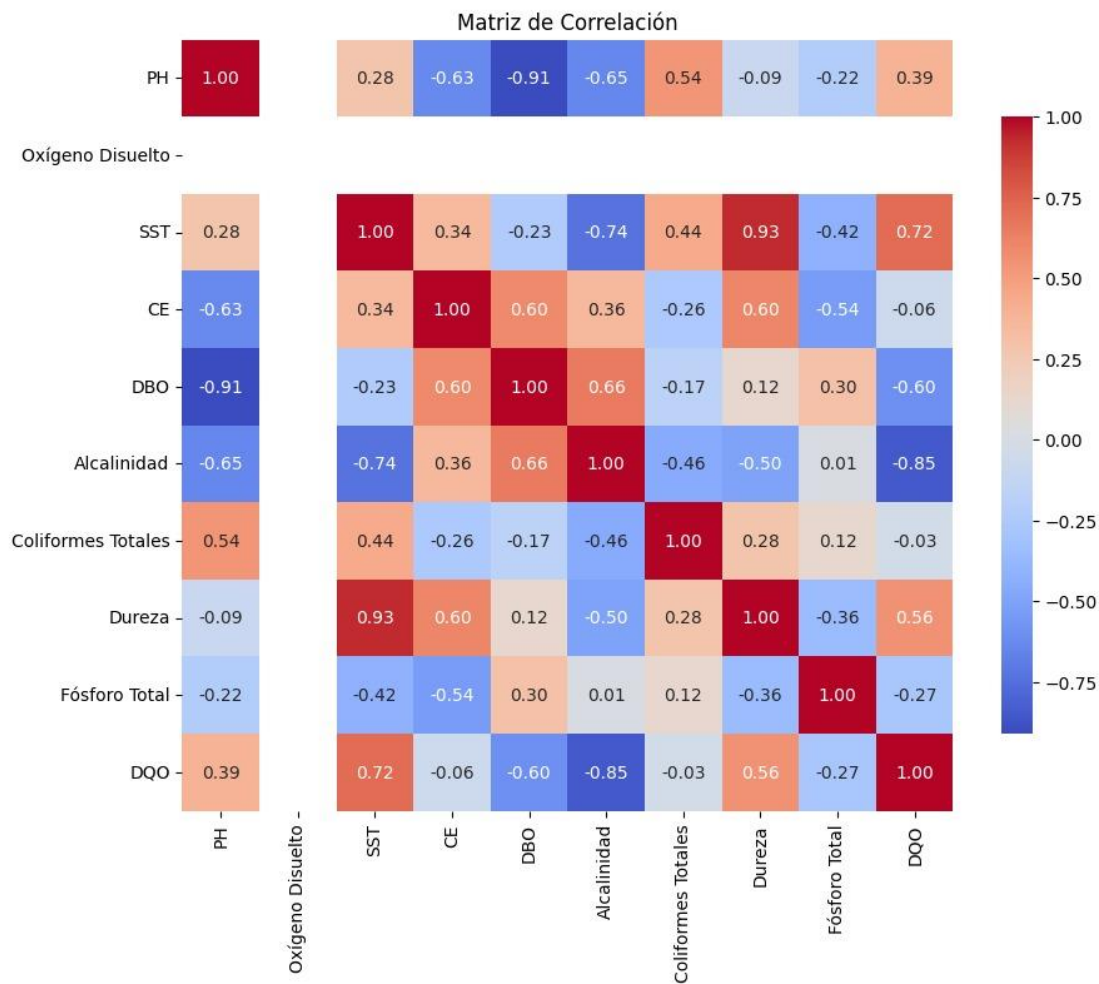
Inicialmente, se organizó una base de datos con las estaciones de monitoreo y los valores de los diferentes parámetros fisicoquímicos. Asumiendo la normalidad de los datos, se aplicó la correlación de Pearson, resultando en la primera matriz de calor. En esta matriz, los valores correspondientes al oxígeno disuelto aparecen vacíos debido a que todos los registros de este parámetro fueron cero, impidiendo el cálculo de correlaciones válidas para este caso.

- **Segunda Etapa: Correlación sin Asumir Normalidad**

Posteriormente, se realizó una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para verificar si las distribuciones de los datos de cada parámetro se ajustaban a una distribución normal. Los resultados indicaron que las variables de alcalinidad y dureza no seguían una distribución normal. Para corregir este comportamiento y reducir el sesgo en los datos, se aplicó una transformación logarítmica de $\log(1 + X)$. Esta transformación permitió controlar la variabilidad de los datos, reduciendo la influencia de los valores extremos y equilibrando los datos para que todos estuvieran en condiciones similares.

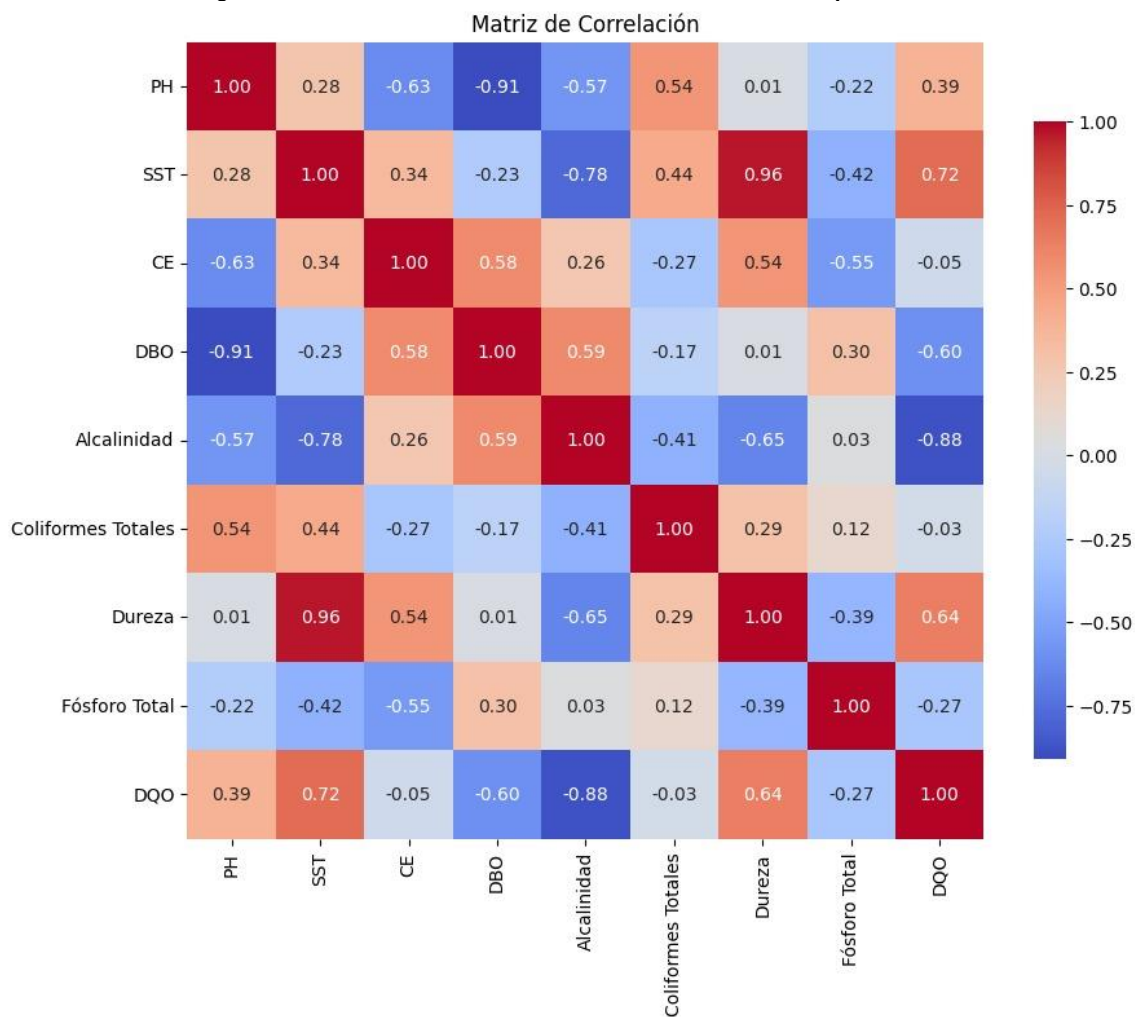
- Matriz de correlación mapa de calor asumiendo la normalidad de los datos

Figura 15. Matriz de correlación asumiendo la normalidad – mapa de calor



- Matriz de correlación mapa de calor asumiendo la normalidad de los datos

Figura 16. Matriz de correlación sin asumir la normalidad – mapa de calor



Fuente: (Elaboración propia, 2024)

6.2.2. pH

El pH es un parámetro importante en la química del humedal, según el análisis de correlación asumiendo la normalidad, se observa que tiene una correlación moderada con otros parámetros como la alcalinidad y dureza. Esta correlación se representa con un color amarillo – anaranjado indicado que están algo relacionados, esto sugiere que a medida de que el pH fluctúa, es notorio que también lo haga la alcalinidad y la dureza, lo cual es consistente que con el hecho de estos parámetros influyen en la capacidad del agua en neutralizarlos.

En épocas de estiaje (diciembre), cuando los niveles de agua son más bajos es posible que el pH se vea más afectado por la concentración de minerales, lo que incrementa la alcalinidad y a su vez, afecta la dureza del cuerpo de agua. Durante las lluvias (abril), la dilución en el humedal puede causar una disminución de estos efectos moderando el pH. Desde el punto de vista de la interacción química, teniendo en cuenta lo expuesto por (Morgan, 2020) en *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. Este parámetro es un regulador central de las reacciones químicas en el humedal Neuta, el pH neutro es esencial para mantener la estabilidad de carbonatos y bicarbonatos.

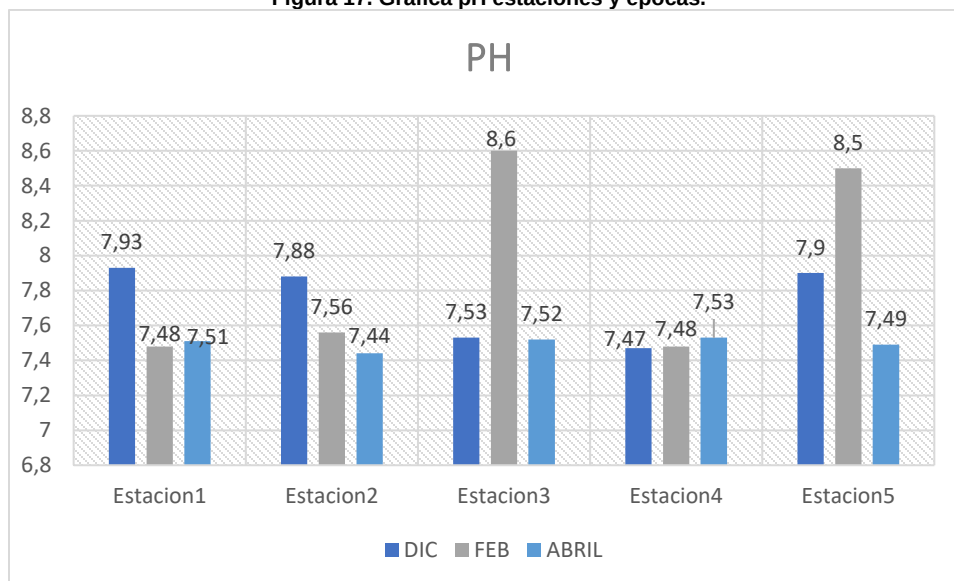
El pH en el humedal Neuta muestra variaciones ligeras entre estaciones, con valores que oscilan entre 7.44 y 8.6, lo que sugiere que el agua es generalmente neutra a ligeramente alcalina, lo cual es favorable para la mayoría de los procesos biológicos.

- **Diciembre (Estiaje):** pH 7,93. En condiciones de estiaje, el pH ligeramente alcalino indica una capacidad amortiguadora eficiente, influenciada por la baja precipitación (39,2 mm), lo que minimiza la dilución de alcalinos.
- **Febrero (Transición):** pH 7,48. La transición climática con 72,3 mm de precipitación comienza a diluir los carbonatos, manteniendo un pH dentro del rango óptimo.
- **Abril (Lluvia):** pH 7,51. La mayor precipitación (87,8 mm) diluye aún más los componentes alcalinos, pero el pH se mantiene estable, lo que indica un buen equilibrio químico.

Según Jairo Alberto Romero, un pH estable en cuerpos de agua como el humedal Neuta es crucial para mantener la estabilidad de los carbonatos y bicarbonatos, y para asegurar la neutralidad del agua que es esencial para la biota acuática. Las

fluctuaciones observadas son mínimas, lo que indica un sistema bien amortiguado determinando también que, Los valores de pH en el humedal Neuta se encuentran dentro del rango de normalidad (6.5 - 8.5) según Romero, (2009), Cumple con los estándares para mantener la estabilidad química del ecosistema acuático, en comparación de los datos tomados por López (2006) en el año 2010 donde su rango variaba entre 6.5 y 7.81 los datos de pH eran más equilibrados.

Figura 17. Grafica pH estaciones y épocas.



Fuente: Elaboración propia, 2024

6.2.3. Oxígeno Disuelto

La recopilación de los datos de esta tabla no se puede expresar gráficamente ya que sus resultados en todas las puntos y épocas da un valor de 0, su comportamiento no es representativo gráficamente. De igual forma no se evidencia ninguna correlación, pero si se puede determinar su estado desde el punto químico según (Romero, 2009)

El Oxígeno Disuelto es crítico para la vida acuática, sin embargo, los datos muestran valores de 0 mg/L en todas las estaciones y periodos, lo que refleja condiciones anóxicas.

- **Diciembre (Estiaje):** 0 mg/L. La falta de oxígeno disuelto es preocupante y probablemente se deba al bajo nivel de agua y la falta de mezcla, exacerbada por la baja precipitación.

- **Febrero (Transición):** 0 mg/L. A pesar del aumento en la precipitación, la recuperación de oxígeno disuelto es insuficiente, posiblemente debido a la alta carga orgánica.
- **Abril (Lluvia):** 0 mg/L. Incluso con mayor precipitación, la anoxia persiste, lo que sugiere una alta demanda de oxígeno que no está siendo satisfecha.

Según el análisis en base a Romero, (2009), niveles tan bajos de oxígeno disuelto son críticos y pueden llevar a la muerte de organismos acuáticos, además de favorecer procesos anaeróbicos que deterioran la calidad del agua. La ausencia de oxígeno en todas las estaciones sugiere una carga orgánica excesiva o falta de recirculación, lo que es una señal de eutrofización y posible colapso del ecosistema acuático determinando que, los niveles de oxígeno disuelto son alarmantemente bajos (0 mg/L) en todas las estaciones y épocas, incumpliendo con los niveles normales establecidos por Romero, (2009), que deben ser superiores a 5 mg/L. Esto identifica una condición crítica que afecta negativamente la vida acuática, en comparación con los datos tomados por López (2006) en el año 2010 donde su rango variaba entre 0 y 1.5 mg/L los datos de OD presentaban una presencia lo cual refleja un deterioro actualmente .

Tabla 21. Oxígeno Disuelto estaciones y épocas

OXIGENO DISUELTO		DIC	FEB	ABRIL
	Punto 1	0	0	0
	Punto 2	0	0	0
	Punto 3	0	0	0
	Punto 4	0	0	0
	Punto 5	0	0	0

Fuente: Elaboración propia, 2024

6.2.4. Conductividad

La conductividad eléctrica muestra una fuerte correlación con La dureza y la alcalinidad, lo cual se aprecia en el mapa de color con tonos rojos acercándose a 1. Esto implica que en el humedal Neuta los niveles de iones disueltos como calcio y magnesio, que contribuyen a la dureza y están directamente relacionados con la capacidad del agua para conducir la electricidad. Durante la época de estiaje, la evaporación puede concentrar estos iones, incrementando la conductividad eléctrica, mientras que durante las lluvias la dilución podrá reducirlas.

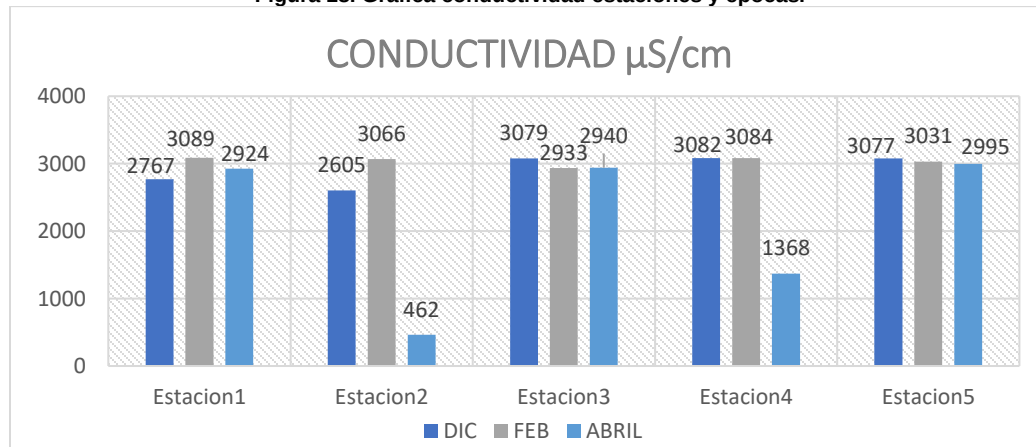
Desde el punto de vista de la interacción química, teniendo en cuenta lo expuesto por (Morgan, 2020) en Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural

Waters, y teniendo en cuenta el contexto del humedal Neuta la correlación alta con la dureza y la alcalinidad sugiere que estos parámetros son dominantes en la química del cuerpo de agua, cambios significativos en la CE, puede alterar la biota acuática y los procesos biogeoquímicos.

- **Diciembre (Estiaje):** 2767 $\mu\text{S/cm}$. Alta CE debido a la concentración de sales en condiciones de estiaje.
- **Febrero (Transición):** 3089 $\mu\text{S/cm}$. Incremento en la CE, posiblemente debido al arrastre de sales y minerales durante la transición climática.
- **Abril (Lluvia):** 2924 $\mu\text{S/cm}$. Aunque las lluvias deberían diluir los iones, la CE sigue siendo alta, lo que sugiere un equilibrio entre la entrada de agua y la concentración de minerales.

Según Romero, (2009) niveles elevados de CE pueden indicar problemas de salinización, que afecta la disponibilidad de agua para la vida acuática y agrícola. En el humedal Neuta, la CE alta en todos los periodos puede estar limitando la biodiversidad y exacerbando la dureza del agua determinando también que, los valores de CE son altos, especialmente en diciembre y febrero, superando los 1000 $\mu\text{S/cm}$, lo que excede los niveles normales (<1000 $\mu\text{S/cm}$) según Romero, (2009). Esto identifica una elevada concentración de sales disueltas, lo que podría afectar la calidad del agua, en comparación con los datos tomados por López (2006) en el año 2010 donde su rango variaba entre 304 y 720 $\mu\text{S/cm}$ los datos de conductividad presentaban unos niveles más bajos indicando un aumento actualmente.

Figura 18. Grafica conductividad estaciones y épocas.



Fuente: Elaboración propia, 2024

6.2.5. SST

Los sólidos suspendidos totales tienen una fuerte correlación con la conductividad eléctrica, como lo indica el color rojo en los mapas de calor. Esto sugiere que en el humedal Neuta la presencia de partículas en suspensión está estrechamente ligada a la concentración de iones disueltos en el cuerpo de agua. Durante la época de lluvias esta correlación indica que se intensifica debido al arrastre de materiales y nutrientes desde los alrededores desde las propiedades verticales cercanas que pueden contribuir a la escorrentía.

Desde el punto de vista de la interacción química, teniendo en cuenta lo expuesto por Morgan, (2020) en *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. Los sólidos suspendidos influyen directamente en la turbidez en el cuerpo de agua del humedal Neuta, también afecta en la capacidad de la luz para penetrar, afectando a las plantas acuáticas debido a la ausencia de la fotosíntesis. En el humedal Neuta el alto nivel de SST aumenta la conductividad eléctrica, indicando una mayor concentración de partículas disueltas y esto conlleva a un mayor estrés para las especies acuáticas. Especialmente durante los periodos de lluvia, cuando los niveles de SST y CE son más altos.

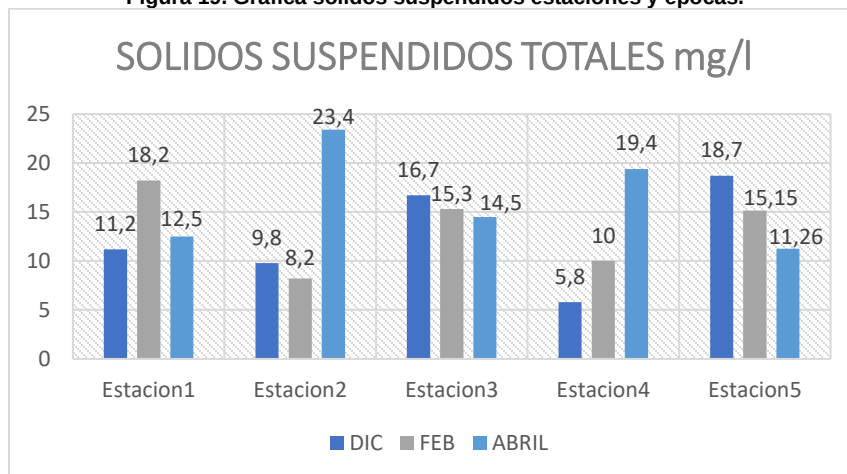
Los SST son un indicador de la turbidez y la cantidad de materia suspendida en el agua, afectando la penetración de luz y la productividad primaria.

- **Diciembre (Estiaje):** 11,2 mg/L. La baja precipitación reduce el arrastre de partículas, resultando en un menor nivel de SST.
- **Febrero (Transición):** 18,2 mg/L. Con la precipitación aumentando, los SST también incrementan debido a una mayor escorrentía que arrastra sedimentos.
- **Abril (Lluvia):** 12,5 mg/L. Aunque las lluvias son más intensas, la dilución y sedimentación pueden estar moderando los SST.

De acuerdo con Romero (2009), niveles moderados de SST como los observados en el humedal Neuta pueden afectar la fotosíntesis al reducir la penetración de luz. Sin embargo, durante periodos de alta turbidez, se incrementa el estrés en las especies acuáticas, particularmente aquellas dependientes de la luz para la fotosíntesis determinando también, que los valores de SST en el humedal muestran variaciones, pero en general, se mantienen dentro de límites aceptables según los criterios de Romero, (2009) que no deben superar los 25 mg/L. Este parámetro cumple con los estándares en comparación con los datos tomados por López (2006)

en el año 2010 donde su rango variaba entre 91 y 216 mg/L los datos de SST presentaban unos niveles más elevados indicando una evolución en la calidad del agua actualmente.

Figura 19. Grafica solidos suspendidos estaciones y épocas.



Fuente: Elaboración propia, 2024

6.2.6. DBO

La DBO tiene una correlación alta con el oxígeno disuelto, como se refleja en los mapas de calor con colores rojos intensos, esto significa que en el humedal Neuta la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el cuerpo de agua está estrechamente ligado a la disponibilidad de oxígeno.

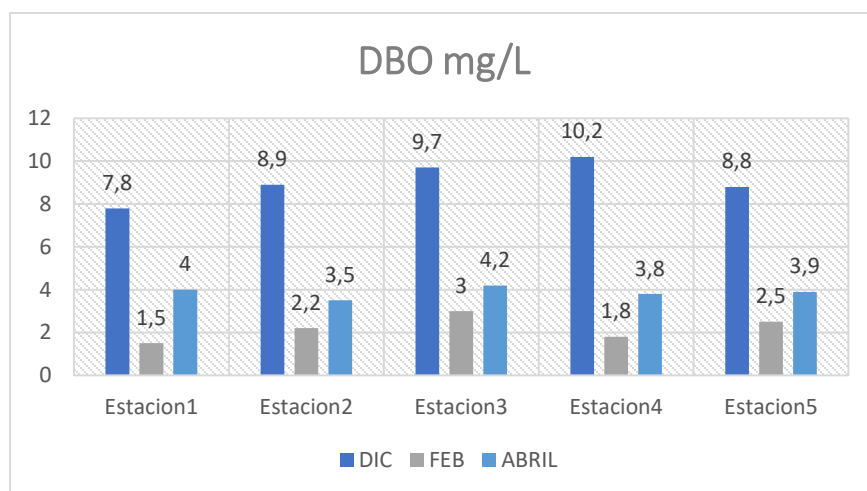
Durante la época de lluvias cuando aumenta la carga orgánica, la DBO también aumenta. Lo cual puede conducir a una disminución notoria del oxígeno disuelto. Desde el punto de vista de la interacción química, teniendo en cuenta lo expuesto por (Morgan, 2020) en Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters, la DBO es un indicador crítico de la contaminación en el humedal la alta correlación con el OD sugiere que la descomposición de materia orgánica es un proceso dominante, especialmente en periodos húmedos un correcto manejo de la DBO es esencial para evitar la degradación del cuerpo agua.

- **Diciembre (Estiaje):** 7,8 mg/L. La DBO elevada en estiaje indica una alta carga orgánica.
- **Febrero (Transición):** 1,5 mg/L. La DBO baja sugiere una menor cantidad de materia orgánica en este periodo.

- **Abril (Lluvia):** 4 mg/L. La DBO aumenta nuevamente, reflejando un incremento en la carga orgánica debido a la escorrentía y la entrada de materia orgánica durante las lluvias.

Según Romero, (2009), una DBO alta en periodos de estiaje es preocupante, ya que reduce los niveles de oxígeno disponible para la vida acuática. La fluctuación observada en Neuta muestra que la carga orgánica es variable, pero alta durante la mayor parte del año, lo que podría estar contribuyendo a las condiciones anóxicas determinando también que, la DBO fluctúa, pero en varios casos excede el valor máximo recomendado de 5 mg/L por Romero, (2009) particularmente en diciembre. Esto indica una alta carga orgánica que incumple con los estándares y afecta la calidad del agua, en comparación con los datos tomados por López (2006) en el año 2010 donde su rango variaba entre 9 y 102 mg/L los datos de DBO presentaban unos niveles extremadamente altos indicando actualmente una disminución, pero su nivel sigue siendo preocupante.

Figura 20. Grafica DBO estaciones y épocas.



Fuente: Elaboración propia, 2024

6.2.7. Coliformes Totales

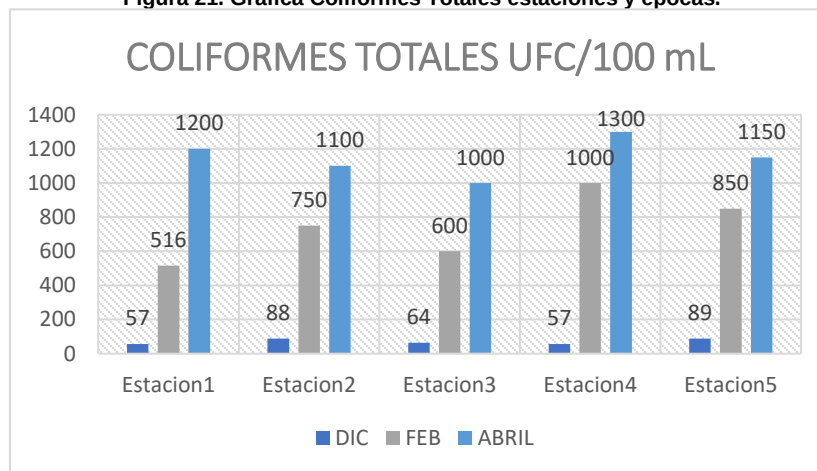
Tienen una correlación moderada con la DBO, especialmente durante las épocas de transición y lluvia, esto indica la alta presencia de bacterias coliformes la cual puede estar relacionada con la carga orgánica en el agua. Los mapas de calor muestran una relación con un color amarillo sugiriendo que un aumento de la DBO puede estar ligada al incremento en los coliformes

Desde el punto de vista de la interacción química, teniendo en cuenta lo expuesto por (Morgan, 2020) en *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*, es un controlador de los niveles de coliformes en cuerpos de agua para evitar riesgos sanitarios, en el humedal Neuta la correlación con respecto a la DBO sugiere que el control de materia orgánica en el agua está ligada y así mismo es crucial para mantener bajos los niveles de coliformes

- **Diciembre (Estiaje):** 57 UFC/100 mL. Niveles bajos, probablemente debido a la menor entrada de contaminantes durante el estiaje.
- **Febrero (Transición):** 516 UFC/100 mL. Aumento significativo, posiblemente por la escorrentía superficial que arrastra contaminantes fecales.
- **Abril (Lluvia):** 1200 UFC/100 mL. Niveles muy altos de coliformes, lo que indica una fuerte contaminación microbiológica durante las lluvias.

Según Romero, (2009), niveles elevados de coliformes en abril son preocupantes para la salud pública y la vida acuática. Esto sugiere la necesidad de un monitoreo más riguroso y medidas de mitigación para reducir la entrada de contaminantes fecales en el humedal determinando también que, los valores de coliformes totales exceden significativamente el límite de 200 NMP/100 mL establecido por Romero, (2009), alcanzando hasta 1300 NMP/100 mL en algunas estaciones. Esto revela una contaminación fecal elevada, incumpliendo con los estándares de calidad del agua, en comparación con los datos tomados por López (2006) en el año 2010 donde su rango variaba entre 1.7×10^5 NMP/mL a 6.5×10^5 NMP/mL los datos de coliformes totales presentaban unos niveles bastante elevados pero actualmente. Se han reducido drásticamente pero siguen siendo altos lo que indica un deterioro del ecosistema en sentido de la materia fecal.

Figura 21. Gráfica Coliformes Totales estaciones y épocas.



Fuente: Elaboración propia, 2024

6.2.8. Fosforo Total

El fósforo total presenta una correlación moderada con la DBO y los SST, especialmente durante la temporada de lluvias, como lo indica el color anaranjado en los mapas de calor. Esto sugiere que en el humedal Neuta el fósforo está asociado con la carga orgánica y la cantidad de partículas en suspensión, contribuyendo a la eutrofización del agua durante los periodos húmedos.

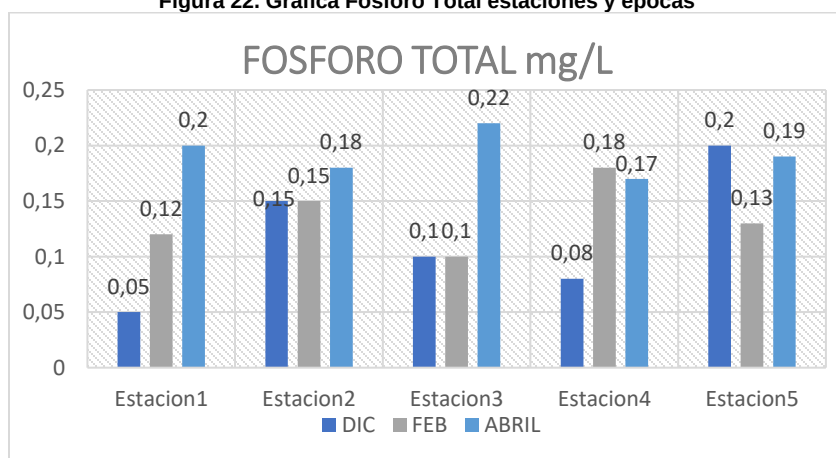
Desde el punto de vista de la interacción química, teniendo en cuenta lo expuesto por (Morgan, 2020) en *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*, en el humedal Neuta la correlación con la DBO y los SST, indican que la gestión de fósforo es crucial para prevenir la proliferación de algas y la eutrofización que deteriora la calidad del agua, especialmente durante las épocas de lluvia.

- **Diciembre (Estiaje):** 0,05 mg/L. Niveles bajos, lo que indica poca actividad biológica y baja carga de nutrientes.
- **Febrero (Transición):** 0,12 mg/L. Incremento moderado, reflejando un mayor aporte de nutrientes con las lluvias.
- **Abril (Lluvia):** 0,2 mg/L. Aumento significativo, lo que podría llevar a una mayor productividad primaria y potencial eutrofización.

Según Romero, (2009), el aumento de fósforo en abril es una señal de riesgo de eutrofización, lo que puede desencadenar floraciones de algas y deterioro de la

calidad del agua. Es vital manejar el aporte de nutrientes para evitar la degradación del humedal determinando también, que los niveles de fósforo total, especialmente en abril, superan los 0.1 mg/L recomendados por Romero, (2009) lo que confirma un riesgo elevado de eutrofización y no cumple con los estándares de calidad del agua, en comparación con los datos tomados por López (2006) en el año 2010 donde su rango variaba entre 4.6 - 9.2 mg/l los datos de fosforo total presentaban unos niveles bastante elevados pero actualmente. Se han reducido drásticamente, pero siguen se mantienen altos lo que contribuye a la eutrofización.

Figura 22. Grafica Fosforo Total estaciones y épocas



Fuente: Elaboración propia, 2024

6.2.9 Dureza

La dureza del agua es la que refleja la concentración del calcio y el magnesio y está fuertemente correlacionado con la conductividad eléctrica y la alcalinidad, como se observa en los mapas de calor con colores rojos, indicando que dichos parámetros están interrelacionados. Durante el estiaje la dureza aumenta debido a la concentración de minerales, lo que también incrementa la CE.

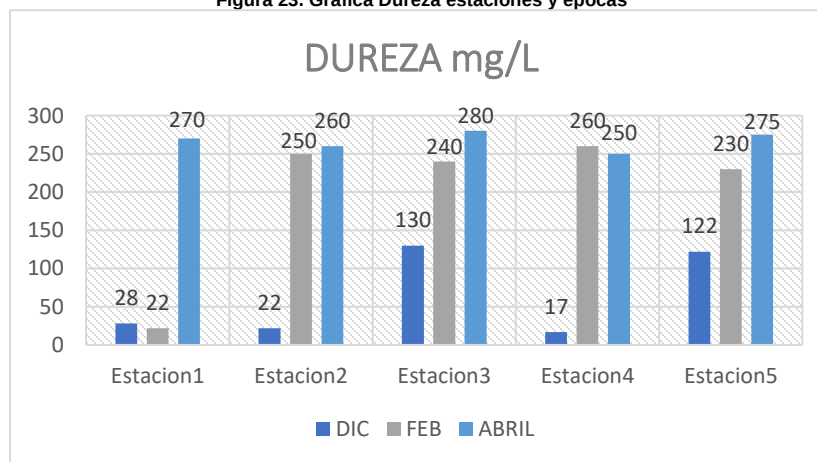
Desde el punto de vista de la interacción química, teniendo en cuenta lo expuesto por (Morgan, 2020) en Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters, En el humedal Neuta, la alta correlación la CE y la alcalinidad sugiere que estos parámetros deben estar monitoreados y gestionados conjuntamente para evitar impactos negativos, especialmente en periodos de bajo caudal.

- **Diciembre (Estiaje):** 28 mg/L. Dureza baja, indicando una menor concentración de minerales disueltos.

- **Febrero (Transición):** 22 mg/L. Disminución de la dureza, posiblemente debido a la dilución.
- **Abril (Lluvia):** 270 mg/L. Aumento significativo, lo que sugiere un arrastre considerable de minerales durante las lluvias.

Según Romero, (2009), la dureza alta durante abril puede ser un problema, ya que puede llevar a la precipitación de carbonatos, afectando la calidad del agua y la biota. Es crucial monitorear estos cambios para evitar problemas de incrustaciones y mantener la calidad del agua en niveles óptimos determinando que la dureza del agua varía ampliamente, con valores que superan los 200 mg/L CaCO_3 en varias estaciones. Según Romero, (2009) el agua se clasifica como "dura" cuando supera los 150 mg/L, lo que confirma que el humedal no cumple con los niveles recomendados, en comparación con los datos tomados por López (2006) en el año 2010 donde su rango variaba entre 47 - 86 mg/ los datos de fósforo total presentaban unos niveles elevados, pero actualmente. Se han aumentado drásticamente lo que refleja un deterioro para este parámetro de las condiciones del humedal.

Figura 23. Gráfica Dureza estaciones y épocas



Fuente: Elaboración propia, 2024

6.2.10 DQO

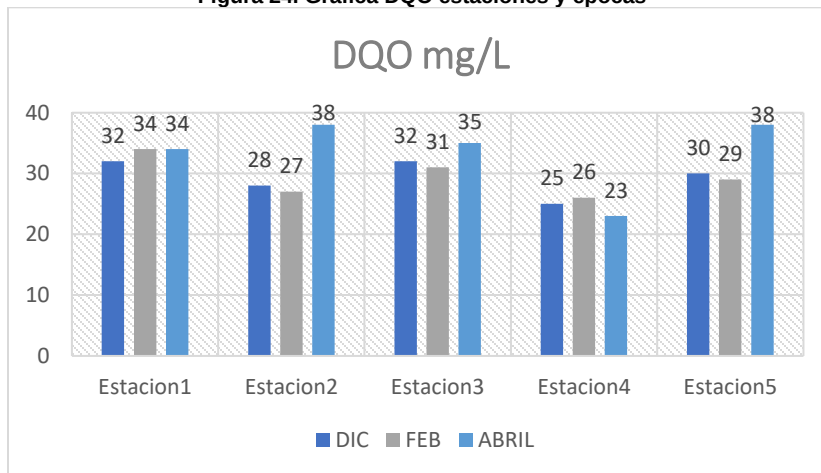
La DQO es la encargada de medir la cantidad de materia orgánica la cual puede ser oxidada químicamente, muestra una correlación moderada con la DBO y el OD, como lo indica el color anaranjado en los mapas de color en el humedal Neuta, sugiere que la materia orgánica presente está relacionada tanto con la actividad biológica como con las reacciones químicas del agua

Desde el punto de vista de la interacción química, teniendo en cuenta lo expuesto por (Morgan, 2020) en *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*, la DQO es un parámetro esencial para evaluar la carga orgánica total del humedal Neuta, la correlación anteriormente mencionada sugiere que tanto como los procesos biológicos son importantes para la oxidación de materia orgánica, especialmente durante los periodos de lluvia cuando la carga orgánica es mayor.

- **Diciembre (Estiaje):** 32 mg/L. Alta DQO, indicando una cantidad significativa de materia orgánica en el agua.
- **Febrero (Transición):** 34 mg/L. Aumento leve, lo que sugiere un incremento en la materia orgánica debido a las lluvias.
- **Abril (Lluvia):** 34 mg/L. La DQO se mantiene alta, reflejando una carga orgánica constante en el humedal.

Según Romero, (2009), una DQO alta en todo el año es una señal de carga orgánica persistente, lo que puede contribuir a la anoxia observada. Este parámetro es crucial para entender la dinámica de la materia orgánica en el humedal y su impacto en la calidad del agua, además, se determina que, los valores de DQO oscilan entre 23 y 38 mg/L, que están en el límite superior del rango aceptable (<30 mg/L) según Romero, (2009). En varias estaciones, se identifica una alta carga orgánica, lo que no cumple con los estándares de calidad, en comparación con los datos tomados por López (2006) en el año 2010 donde su rango variaba entre 47 - 180 mg/L los datos de DQO presentaban unos niveles elevados, pero actualmente. Se han elevado lo que indica que existe una cantidad de sustancias oxidables dentro del cuerpo del agua.

Figura 24. Grafica DQO estaciones y épocas



Fuente: Elaboración propia, 2024

6.2.11 Alcalinidad

La alcalinidad muestra una fuerte correlación con el pH y la dureza, como se observa en los mapas de calor en el humedal Neuta, está estrechamente con la capacidad del agua, para resistir cambios en el pH, dando como un buffer natural. Durante el estiaje la alcalinidad podría aumentar debido a la concentración de carbonatos, lo que puede estabilizar el pH, pero así mismo aumenta la dureza del agua.

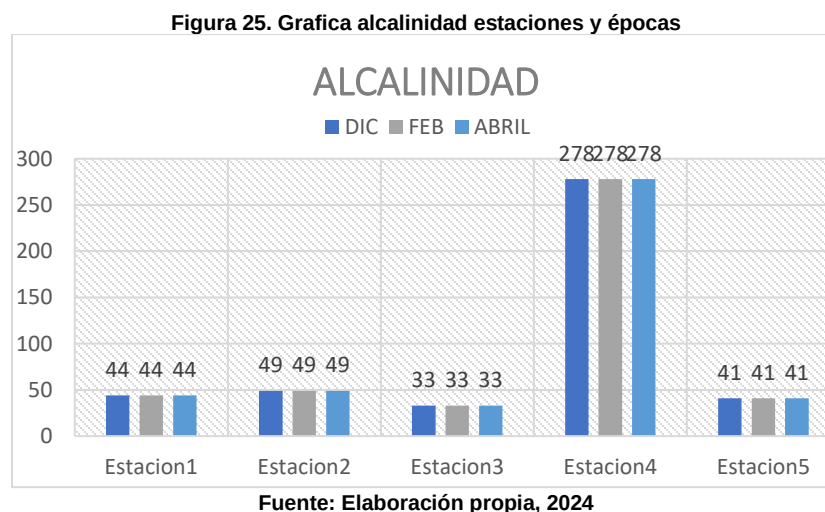
Desde el punto de vista de la interacción química, teniendo en cuenta lo expuesto por (Morgan, 2020) en Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters, en el humedal Neuta su alta correlación con el pH y la dureza, sugiere que estos parámetros deben gestionarse conjuntamente, para evitar fluctuaciones que podrían afectar la biota del humedal, un nivel alto en periodos secos evita la acidificación, protegiendo así el ecosistema acuático.

Diciembre (Estiaje): 44 mg/L. Alcalinidad moderada, suficiente para amortiguar cambios en el pH.

Febrero (Transición): 44 mg/L. Sin cambios significativos, lo que sugiere una capacidad amortiguadora constante.

Abril (Lluvia): 44 mg/L. La estabilidad de la alcalinidad sugiere que el humedal tiene un buen control sobre la acidez, incluso con mayores entradas de agua.

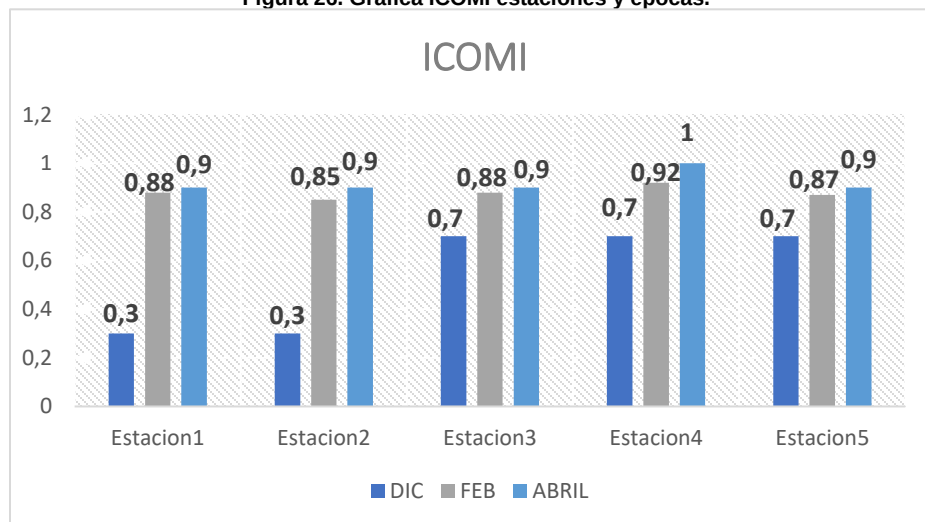
Según Romero, (2009) una alcalinidad constante es crucial para evitar la acidificación, especialmente durante periodos de lluvias intensas. En Neuta, la estabilidad en la alcalinidad muestra que el sistema tiene un buen control sobre el equilibrio ácido-base y también se determina, que los valores de alcalinidad en algunas estaciones, como la Estación 4, son significativamente altos (278 mg/L CaCO_3), superando los niveles normales (<200 mg/L CaCO_3). Esto demuestra una elevada capacidad de neutralización que no cumple con los criterios según Romero, (2009), y no hay registros de datos de alcalinidad en estudios anteriores referente a la alcalinidad por resultado no se puede concluir si ha mejorado o deteriorado frente a este parámetro fisicoquímico.



6.3. ANALISIS DE RESULTADOS DE LOS INDICES DE CONTAMINACION Y INDICE DE CALIDAD DEL AGUA

Para evaluar y comprender la calidad del agua en el humedal Neuta, mediante los parámetros fisicoquímicos analizados anteriormente y con los que se usan para determinar los índices de contaminación ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOTRO Y ICA, utilizados para evaluar aspectos de la calidad del agua en el humedal Neuta en diferentes épocas del año con 5 estaciones de muestreo. Los resultados base para poder implementar la estructura completa de estos índices, se basa en la toma de cada parámetro mencionado anteriormente, los cuales se conjugan con índices y se emplean en ecuaciones según (Gonzalez, 1998) Pag 43,44 y 45.

Figura 26. Grafica ICOMI estaciones y épocas.



Fuente: Elaboración propia, 2024

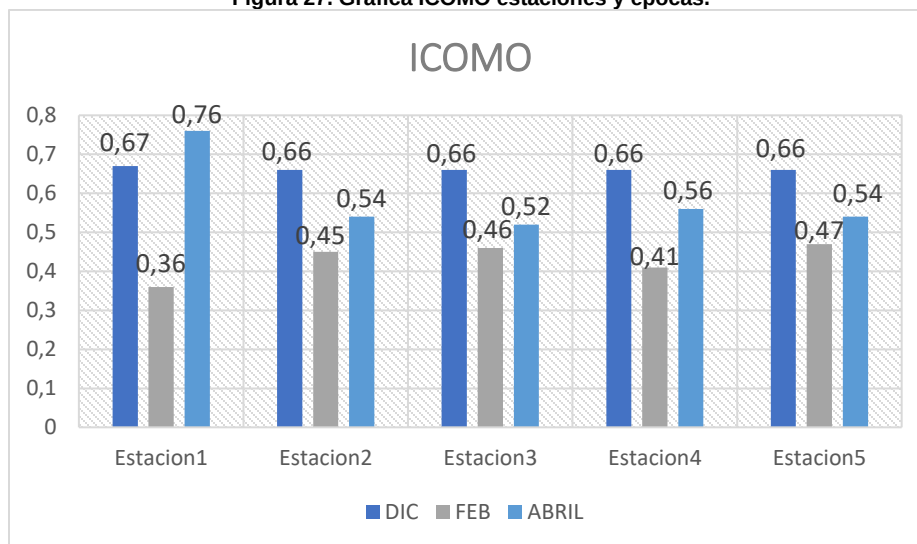
Análisis: El ICOMI tiene como base la conductividad eléctrica, dureza y alcalinidad, los cuales son parámetros que se encargan de reflejar la concentración de iones disueltos en el humedal. En diciembre, las estaciones 1 y 2 presentan un valor bajo de 0.3, consecuente a la baja dureza (28 y 22 mg/L) y alcalinidad equilibrada de (44 y 49 mg/L), indicando una menor concentración de minerales disueltos, así mismo, las estaciones 3, 4 y 5 tienen un valor de 0.7, lo cual es notorio principalmente por una mayor dureza (130, 17 y 122 mg/L) y altas conductividades (3079-3082 $\mu\text{S}/\text{cm}$), siendo notorio una mayor mineralización en estas áreas.

En febrero, el valor de ICOMI aumenta en todas las estaciones, la numero 4 alcanzando 0.92, debido a un aumento de la dureza (hasta 260 mg/L) y en alta alcalinidad (278 mg/L), así como una alta conductividad (3084 $\mu\text{S}/\text{cm}$). En abril, el valor de ICOMI se regula en 0.9 en la mayoría de las estaciones, con la estación numero 4 alcanzando un valor máximo de 1.0, impulsado por una dureza notable de (250 mg/L) y una conductividad alta (1368 $\mu\text{S}/\text{cm}$). El aumento de estos parámetros durante los tres meses muestra una acumulación progresiva de iones minerales, debido a la evaporación o la reducción en la recarga de agua nueva.

según, Juan Sebastián (2014), los valores cercanos a 1 representan alta contaminación por mineralización, el cual se evidencia para el mes de febrero en época de transición, se genera un estrés ambiental para el humedal por el bajo nivel del agua, ocasionando afectación en el mismo, por falta de nutrientes y luz solar. De igual forma los valores por debajo a cero indican una baja contaminación de mineralización.

6.3.1. Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)

Figura 27. Grafica ICOMO estaciones y épocas.



Fuente: Elaboración propia, 2024

Análisis: El índice ICOMO se ve afectado por la (DBO), coliformes totales y oxígeno disuelto. En diciembre, los valores de 0.66-0.67 en todas las estaciones indican una carga orgánica moderada, donde la DBO varía entre los valores de 7.8 y 10.2 mg/L, y los coliformes totales se mantienen parcialmente bajos con un valor de (57-89 NMP/100mL), aunque el oxígeno disuelto es bastante bajo (0 mg/L), lo cual afecta negativamente el índice de contaminación.

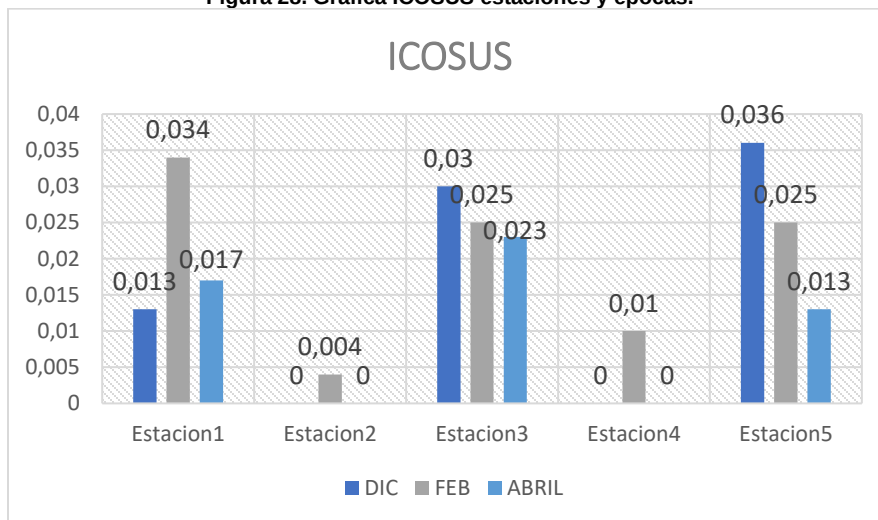
En febrero, hay una disminución de ICOMO en todas las estaciones (0.36) en la estación 1, por una reducción significativa en la DBO (1.5 - 3 mg/L) y un incremento notable en los coliformes totales, especialmente en la estación 4 (1000 NMP/100mL). El bajo oxígeno disuelto persiste, pero la disminución en DBO ayuda a reducir el índice ICOMO. Para abril, se observa un aumento en el índice ICOMO, especialmente en la estación 1 con un valor de (0.76), donde un aumento en la DBO (4 mg/L) y en los coliformes totales (1200 NMP/100mL) reflejando un incremento en la carga orgánica, manteniendo el oxígeno disuelto en 0 mg/L. Este aumento indica un deterioro en la calidad del agua, con mayor carga de materia orgánica y deterioro en las condiciones aeróbicas en el cuerpo de agua.

Según Juan Sebastián, (2014), los valores ICOMO se catalogan de 0 a 1, donde el valor cero representa una baja contaminación y valores cercanos a uno o superiores

hacen referencia al aumento de contaminación en el cuerpo del agua generando una disminución de oxígeno.

6.3.2. Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS)

Figura 28. Grafica ICOSUS estaciones y épocas.



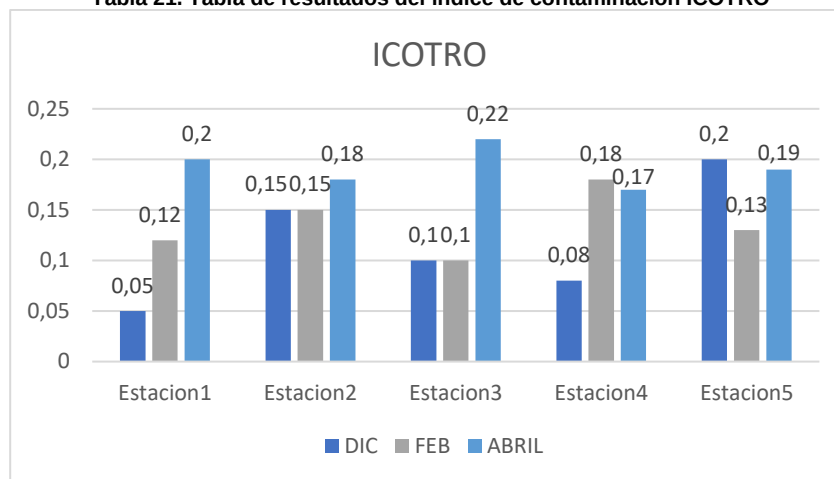
Fuente: Elaboración propia, 2024

Análisis: El índice ICOSUS evalúa la cantidad de sólidos suspendidos en el agua, durante el mes de Diciembre, las estaciones reflejan unos valores variados, la estación número 5 registro el máximo con un valor de 0.036, en el mes de Febrero, se presenta una disminución que se comporta de manera general en la mayoría de estaciones, exceptuando la estación número 1 con un valor de (0.034), en el mes de Abril, los valores se comportan de manera uniforme, pero al igual siguen reflejando baja presencia de sólidos suspendidos y por ende el índice no presenta valores que puedan necesitar atención, lo que evidencia o demuestra un agua con una característica relativamente clara, pero que tiene variaciones según las estaciones.

Según Juan Sebastián, (2014), los valores ICOSUS se catalogan de 0 a 1, donde el valor cero representa una baja presencia de sólidos suspendidos y uno representa alta presencia de sólidos suspendidos,

6.3.3. Índice de contaminación trófico

Tabla 21. Tabla de resultados del índice de contaminación ICOTRO



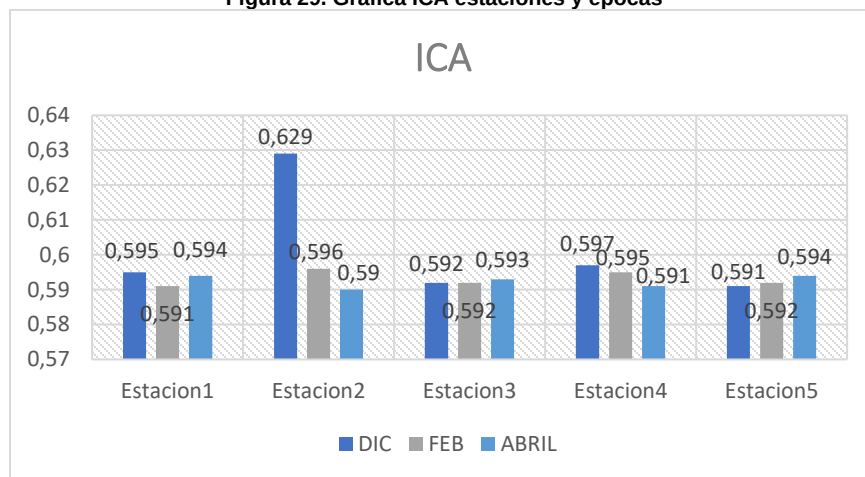
Fuente: Elaboración propia, 2024

Análisis: El índice ICOTRO, con el cual analizamos los niveles de fosforo total presentes en el cuerpo de agua y cual indica el estado trófico. En todas las estaciones y mese los valores del índice ICOTRO muestran condiciones de eutrofia, con valores que varían entre 0.05 y 0.22 mg/L, en la estación 1 muestra un aumento significativo en los valores desde diciembre con un valor de (0,05 mg/L) hasta abril con (0,02mg/L), lo cual puede estar relacionado con un incremento en la disponibilidad de los nutrientes, debido a arrastre de material orgánico o descargar de materia orgánica en los meses que presentan una mayor precipitación, este patrón que refleja un aumento es que continuamente se está aportando nutrientes y esto ayuda a la eutrofización progresiva del cuerpo de agua, este fenómeno se presenta en áreas donde el uso del suelo circundante o tuberías de descarga favorecen la recarga de nutrientes causando una eutrofización en el humedal Neuta.

Según Juan Sebastián, (2014), los valores ICOTRO se catalogan en base del fosforo total, por medio de una categorización, en el cual para este caso los meses se catalogan como Eutrofia, ya que oscilan de 0.02 – 1.00. Lo que se define como buen estado de nutrición.

6.3.4. Índice de Calidad del Agua (ICA):

Figura 29. Grafica ICA estaciones y épocas



Fuente: Elaboración propia, 2024

Al analizar los datos del Índice de Calidad del Agua (ICA) en el humedal Neuta en diciembre, febrero y abril en cinco estaciones designadas, se observa una relativa estabilidad en la calidad del agua en los diferentes períodos.

En diciembre, los valores del ICA oscilan entre 0.591 y 0.629 en las diferentes estaciones, lo que indica una calidad general del agua que varía de aceptable a buena en todas las áreas del humedal evaluadas.

Durante febrero, los valores del ICA muestran una tendencia similar, con mediciones que van desde 0.591 hasta 0.596. Esto sugiere que la calidad del agua se mantiene en niveles aceptables en todas las estaciones durante este mes.

En abril, se observa una ligera disminución en los valores del ICA en comparación con los meses anteriores, con mediciones que oscilan entre 0.59 y 0.594. Aunque los valores son ligeramente más bajos, aún indican una calidad del agua dentro del rango aceptable en todas las áreas del humedal.

Según IDEAM (2022), los valores de clasificación en el ámbito numérico esta entre 0,51 a 0,70, lo cual nos indica como descriptor regular, posiblemente debido a la descarga de residuos y desechos urbanos aledaños al humedal Neta. Generando un alerta color amarillo, el cual señala que el humedal debe tener mayor cuidado.

7. LINEAMIENTOS DE MANEJO Y CONTROL

Estos lineamientos que se presentan en las tablas 23 y 24 se formulan conforme a los análisis de resultados y presentados para sus afectaciones MAS importantes y las cuales se deben tomar acciones para preservar el ecosistema y evitar la degradación de la calidad del agua del humedal Neuta.

Tabla 23. Lineamiento de manejo de calidad del agua y conservación.

PROGRAMA INTEGRAL DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL HUMEDAL NEUTA			FICHA NO. 1	
Objetivo	Desarrollar e implementar un programa integral de gestión y conservación de la calidad del agua en el humedal Neuta, con el fin de prevenir y mitigar los impactos negativos derivados de la actividad antrópica, asegurando la sostenibilidad ecológica del ecosistema acuático.			
Tipo de medida	Prevencion	X	Mitigacion	X
	Control	X	Compensacion	x
Descripcion del Impacto	El humedal Neuta, como ecosistema de alta biodiversidad, enfrenta riesgos significativos debido a la creciente urbanización y las descargas de aguas residuales que afectan la calidad del agua. La falta de medidas adecuadas de control ha resultado en la eutrofización, disminución del oxígeno disuelto y alteración de los parámetros fisicoquímicos, lo que compromete la estabilidad ecológica y la capacidad del humedal para funcionar como un reservorio natural.			
Estrategias y acciones a desarrollar	- Monitoreo continuo: Instalación de sensores automáticos para el monitoreo en tiempo real de pH, oxígeno disuelto, SST, CE, DBO, alcalinidad, coliformes, dureza, fósforo total y DQO. Sistema de alerta temprana. - Restauración ecológica: Reforestación y restauración de vegetación riparia. Creación de áreas protegidas y corredores biológicos. - Educación comunitaria: Campañas de sensibilización y participación comunitaria en monitoreo y restauración. - Tecnologías verdes: Fitoremediación, humedales artificiales, y sistemas de drenaje sostenible (SUDS). - Lugar de aplicación: Humedal Neuta, enfocándose en entradas de aguas residuales y zonas de amortiguamiento.			
Lugar de aplicación de la medida	Cuerpo de agua Humedal Neuta y areas verdes circundates al humedal promoviendo tambien la accesibilidad			

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 24. Lineamiento de Monitoreo de Vertimientos

SISTEMA ESTRATÉGICO DE MONITOREO Y CONTROL DE VERTIMIENTOS EN EL HUMEDAL NEUTA			FICHA NO. 2	
Objetivo	Diseñar e implementar un sistema estratégico de monitoreo y control de vertimientos de aguas residuales en el humedal Neuta, enfocado en la identificación, prevención y mitigación de fuentes de contaminación puntuales y difusas, para preservar la integridad ecológica del humedal y garantizar su funcionalidad a largo plazo.			
Tipo de medida	Prevencion	X	Mitigacion	x
	Control	X	Compensacion	x
Descripcion del Impacto	El humedal Neuta está expuesto a contaminantes provenientes de fuentes puntuales, como descargas industriales y vertimientos domésticos, así como de fuentes difusas, tales como escorrentía agrícola y lixiviados. Esta contaminación afecta la calidad del agua, contribuyendo a la degradación del ecosistema acuático y alterando las dinámicas biológicas esenciales para la resiliencia del humedal.			
Estrategias y acciones a desarrollar	Identificación de fuentes: Mapeo de fuentes de contaminación puntuales y difusas, clasificación según tipo de contaminante, e inventario de industrias y áreas residenciales con regulaciones estrictas. Monitoreo: Instalación de estaciones de monitoreo en áreas vulnerables para medir contaminantes en tiempo real. Protocolo de monitoreo estacional. Medidas correctivas: Normativa con sanciones para vertimientos fuera de los límites y programas de incentivos para manejo sostenible. Control de escorrentía: Estructuras de control en áreas agrícolas y urbanas y promoción de prácticas agroecológicas para reducir contaminantes difusos.			
Lugar de aplicación de la medida	Cuerpo de agua Humedal Neuta y areas verdes circundates al humedal promoviendo tambien la accesibilidad			

Fuente: Elaboración propia, 2024

8. IMPACTO SOCIAL Y HUMANISTICO DEL PROYECTO

8.1. estrategias de conservación e impacto social positivo frente a la conservación de áreas naturales y hábitats

La preservación y recuperación del humedal Neuta en Soacha, Cundinamarca, protege el entorno natural y ejerce un gran impacto en el bienestar social y la conciencia ambiental de la población local. Al conservar este ecosistema, se originan diversos beneficios sociales, como la disponibilidad de áreas verdes para el esparcimiento y la educación ambiental, el estímulo del turismo sostenible que dinamiza la economía local y la participación de la comunidad en actividades de conservación.

Además, el humedal juega un rol fundamental en la preservación de la diversidad biológica, la regulación del ciclo hídrico y la mitigación del cambio climático, contribuyendo así a mejorar la calidad del agua y del aire en la región.

En síntesis, el proyecto no solo resguarda un ecosistema de gran valor, sino que también impulsa el desarrollo sostenible y fortalece el vínculo entre la comunidad local y su entorno natural. A raíz de la identificación tomada en campo y en base a los resultados de los índices de calidad del agua, al implementar las estrategias se generan múltiples beneficios, para la comunidad local donde por resultado dará un entorno ambiental estratégico y una participación comunitaria activa desarrollando las estrategias de conservación propuestas.

8.1.2. estrategias de conservación con un impacto social positivo como resultado del proyecto desarrollado

Sensibilización ambiental: esta constará de promover a través de campañas y programas educativos ambientales la sensibilización sobre la importancia del humedal, la necesidad de conservarlo, creando conciencia sobre la biodiversidad y fomentando un sentido de pertenecía y responsabilidad hacia su protección.

Participación comunitaria: al involucrar la comunidad en actividades de conservación, se iniciaría con jornadas de limpieza, siembra de árboles nativos y vigilancia emitida en colaboración por la comunidad aledaña al humedal en horas diurnas.

Desarrollo sostenible: fomentar prácticas y actividades económicas sostenibles, que no comprometan la integridad del humedal. Esto hace participe al desarrollo al turismo ecológico. Estas actividades generan oportunidades laborales para la comunidad local, mientras se garantiza la preservación del ecosistema.

Restauración y conservación del hábitat: implementar acciones específicas para restaurar y conservar los hábitats naturales dentro del humedal, como la reforestación de zonas degradadas, la eliminación de especies invasoras y la protección de zonas de reproducción de especies nativas. Esto contribuye a mantener la biodiversidad y proporciona un entorno favorable para la fauna y flora local.

9. CONCLUSIONES

1. El índice de contaminación por mineralización (ICOMI) demuestra que las estaciones o puntos de muestreo con mayor dureza y conductividad tienden a presentar valores más altos, lo que refleja una mayor acumulación de minerales, y especialmente en la época de temporada seca (Diciembre) lo cual se puede presentar por evaporación y falta de renovación hídrica, la variabilidad estacional de todos los índices demuestra que las condiciones ambientales y las fuentes de contaminación cambien significativamente en el transcurso del año impactando de manera diferenciada en esta punto de monitoreo
2. El análisis de correlaciones demuestra que existe una correlación inversa entre el oxígeno disuelto y la DBO lo que demuestra la dinámica del consumo de oxígeno por la materia orgánica presente en el cuerpo de agua, en estaciones donde se registra altos valores de DBO, los niveles de oxígeno disuelto son significativamente bajos, y como resultado es lo que contribuye a la elevación del índice de contaminación por materia orgánica ICOMO. Esta correlación inversa muestra que las estaciones más afectadas por la contaminación orgánica están en un deterioro con un riesgo bastante elevado de hipoxia o condiciones anoxicas y esto como resultado resalta la necesidad de hacer un control a las fuentes que descargan materia orgánica y preservar la estabilidad del cuerpo de agua
3. Los resultados obtenidos resaltan la importancia de un manejo del monitoreo continuo teniendo en cuenta la gestión integral en el humedal, las variaciones en los índices especialmente en el índice de contaminación por sólidos suspendidos, indica que las actividades antrópicas como la urbanización están influyendo directamente en la calidad del agua, la correlación de los parámetros fisicoquímicos y los valores de cada índice de contaminación resalta la necesidad de una estrategia de gestión la cual maneje o incluya el control de fuentes de contaminación puntual y difusa la cual garantice la preservación y recuperación del cuerpo de agua y su funcionalidad ecológica y social.
4. En la variabilidad espacial en la conductividad eléctrica y la dureza presentan cambios relevantes entre estaciones, lo que indica diferencias en la composición iónica del agua, generalmente debido a fuentes de contaminación urbanas o de acciones antrópicas. Para las estaciones como la número 4 la cual muestra valores extremadamente altos de alcalinidad y dureza, lo que se refleja en un ICOMI elevado, especialmente en los meses de febrero y abril. Estos resultados

importantes señalan objetivamente el mal cuidado y uso del humedal por parte de la población aledaña, lo cual requiere una acción notoria para evitar la deterioración de la calidad del agua en zonas críticas del humedal Neuta.

5. En el resultado ICA, según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el agua se clasifica entre 0,51 a 0,70, lo cual nos indica como descriptor regular de color amarillo, posiblemente debido a la descarga de residuos y desechos urbanos aledaños al humedal Neuta. indicando que el agua puede ser utilizada y direccionado para ciertos fines, como el riego, pero es importante tener en cuenta que no es recomendable para consumo humano.
6. La comparación de los parámetros fisicoquímicos que comprenden entre el año 2024 y el año 2010 reflejan un deterioro en la calidad del agua del humedal Neuta los datos actuales indican un aumento en la acidez o alcalinidad del agua, reducción de los niveles de oxígeno disuelto y un incremento en los sólidos suspendidos totales. Además, se refleja también una mayor conductividad eléctrica, mayor demanda bioquímica de oxígeno y también un aumento en los coliformes totales, demostrando un incremento en la carga de contaminantes orgánicos y una mayor presencia de patógenos en el cuerpo de agua, la disminución en la alcalinidad, conforme a los cambios en la dureza y el fosforo total refleja alteraciones significativas en las características del agua y resultando en una degradación generalizada en comparación a los valores del año 2010 y solicitando un plan de manejo ambiental nuevo para mitigar los impactos ambientales y reservar los recursos naturales.

11. REFERENCIAS

1. CAR. (2011). Humedales del Territorio CAR. Obtenido de <https://www.car.gov.co/uploads/files/5adf57a6d882c.pdf> (Vivienda, 2007)
2. Corponor. (2014). CORPONOr.gov. Obtenido de https://corponor.gov.co/calidad_agua/2021/iscala/6.INDICE_DE_LA_CALIDAD_DEL_AGUA_IDEAM.pdf
3. Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974 por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección. (1974). Bogotá D. C.
4. De Zapotlán, G. (2021). Recomendaciones para Temporada de Estiaje. Gob.mx. <http://ciudadguzman.gob.mx/Pagina.aspx?id=f784ac49-e465-48ec-bb4c-ec5aceb73ca1>
5. FERNEY, C. M. (15 de 05 de 2018). Repositorio Unicundinamarca. Obtenido de GESTIÓN DEL RIESGO DEL HUMEDAL NEUTA EN EL MUNICIPIO DE SOACHA: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/1103/GESTI%C3%92N%20DEL%20RIESGO%20DEL%20HUMEDAL%20NEUTA%20EN%20EL%20MUNICIPIO%20DE%20SOACHA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. FAJARDO, C. F. (2017). Core.ac. Obtenido de PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN: <https://core.ac.uk/download/pdf/198450214.pdf>
7. Juan Sebastián, C. A. (24 de 02 de 2014). *repository unimilitar*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10901/articulo%20final.pdf;jsessionid=B8548E4DAA3CCACD8C9074D735641016?sequence=1>

8. García, C. B. (2016). repositorio uniandes. Obtenido de Metodología para determinación del índice de calidad del agua a: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/34065/u821524.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
9. Gonzales, A. R. (1998). Limnología colombiana. Bogotá: DBUSTA. IDEAM. (2015). [ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>
10. Ambiente, M. d. (2015). Valores maximos y permisibles en los vertimientos puntuales en cuerpos de agua superficiales. Bogota.
11. APHA. (2005). Standard Methods por the examination of water and wastewater. Washington D.C.: APHA.
12. Association, A. P. (2017). American Water Works Association. WEF.
13. Boyd, C. (2019). Water Quality. Auburn: Springer Nature.
14. Gonzales, A. R. (2010). Evaluacion de la calidad del agua en humedales de la orinoquia . Publicaciones Colombiana de Ecologia.
15. Gonzalez, A. R. (1998). Limnologia Colombiana aportes a su conocimiento y estadistica de analisis. Exploration Ccompany ediciones Colombia.
16. Heredia, J. (2020). Ciencia de los Materiales. Catarata.
17. IDEAM. (diciembre de 1999). pronostico ideam . Obtenido de <http://archivo.ideam.gov.co/web/guest>

18. IDEAM. (2022). Índice de Calidad del Agua en corrientes superficiales (ICA).
Obtenido de <https://www.car.gov.co/uploads/files/64110bfcd9711.pdf>
19. Lopez, L. S. (2006). PMA humedal Neuta.
20. Martinez, P. (2015). Efectos de la urbanizacion en los humedales del Valle del Cauca. Ciencias Ambientales.
21. Ministerio de Ambiente, V. y. (22 de junio de 2007).
<https://minvivienda.gov.co/>. Obtenido de
<https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>
22. Ministerio de salud. (1984). Usos del agua y residuos líquidos. Bogota.
23. Moreno, L. A. (2014). Efectos de la urbanizacion en la calidad del agua de los humedales de Bogota. Bogota D.C.: Reviste de Ingenieria.
24. Morgan, J. (2020). Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters. California: WERNER STUMM.
25. Otalora, C. F. (2017). Estrategias de uso y manejo del suelo de la ronda del humedal Neuta (Soacha – Cundinamarca). Unilibre repository.
26. Perez, R. (2012). Impacto de la mineria en la calidad del agua en los humedales del rio Magdalena . Enviromental Studies.
27. RAMSAR. (08 de 2006). Obtenido de <https://www.ramsar.org/es/acerca-de/nuestra-mision/la-importancia-de-los-humedales>
28. RAMSAR. (2006). Guía a la Convención sobre los Humedales. En RAMSAR, Guía a la Convención sobre los Humedales (pág. 124). Irán: Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland.

29. Ramsar. (2006). Manual de la de RAMSAR 5a - 2006. Gland, Switzerland.
30. Romero, J. A. (2009). Calidad del agua. Ediciones de la U.
- 31., D. (15 de 11 de 2020). Humedal Neuta de Soacha, una riqueza natural al cuidado de Dora Vásquez. (P. Publico, Entrevistador)
32. Vivienda, M. (2007). características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. .
33. IDEAM - IDEAM. (s/f). Gov.co. Recuperado el 9 de julio de 2024, de <http://archivo.ideam.gov.co/web/guest>
34. IDEAM. (2006). CONCEPTOS BÁSICOS DE CAMBIO CLIMÁTICO - IDEAM. Gov.co. <http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas>
35. MINISTERIO DE AMBIENTE, V. Y. (22 de junio de 2007). <https://minvivienda.gov.co/>. Obtenido de <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>
36. Ministerio del medio ambiente. (2002). Decreto 1729 del 2002 por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del artículo 5o. de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C: Ministerio del medio ambiente.
37. RAMSAR – MANUEL DE CONVENCION RAMSAR SOBRE LOS HUMEDALES (2006). Ampliar la conservación, el uso racional y la restauración de los humedales para lograr los Objetivos de desarrollo Sostenible – ODS: Los humedales y los Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual2006s.pdf

38. RAMSAR. (2006). Guía a la Convención sobre los Humedales. En RAMSAR, Guía a la Convención sobre los Humedales (pág. 124). Irán: Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland.
39. SALAZAR LOPEZ, L. S. (diciembre de 2006). CAR. Obtenido de <https://www.car.gov.co/uploads/files/5f384bf54e26c.pdf>
40. Salud, M. d. (1984). Usos del agua y residuos líquidos. Bogota.
41. Santana, M. T. (2020). repositorio.uan.edu.co. Obtenido de UAN: <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2916/1/2020Mar%C3%A1DaTeresaRuizSantana.pdf>
42. Secretaría de la Convención de Ramsar. (2013). Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la convención sobre los humedales (Ramsar, Irán, 1971), 6ª edición. Obtenido de <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/manual6-2013-sp.pdf>
43. Vivienda, M. (2007). características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogota.
44. VERA, J. E. (2018). repositorio usta. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18335/2018juanpiedrahita.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
45. Stuart Butchart, E. D.-A. (2005). Los Ecosistemas y el bienestar humano: humedales y agua. estados unidos de América.
46. CAR. (2024). CAR. Obtenido de <https://oaica.car.gov.co/vercaso2.php?id=138>
47. PALACIOS, A. V. (2022). FORMULACIÓN DE UNA PROPUESTA ACTUALIZADA PARA LA MINIMIZACIÓN DEL. Bogotá: universidad la salle
48. presidencia, d. u. (26 de mayo de 2015). sistema único de información normativa. Obtenido de <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/30019960>

