

INFORME TÉCNICO DE ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL Y COMUNIDADES HIDROBIOLÓGICAS.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO C.R.A

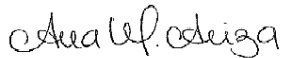
*Caracterización fisicoquímica, hidrobiológica y microbiológica, ejecutados el
día 03 de octubre de 2022 en la ciénaga de Luruaco.*

**LURUACO/ATLÁNTICO
OCTUBRE 2022**



**INFORME TÉCNICO DE ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL Y COMUNIDADES
HIDROBIOLÓGICAS.****Elaboró:**

Valerie M. Gómez Domínguez

Revisó y Aprobó:

Ana Milena Ariza Blanco

El monitoreo fue desarrollado por SERAMBIENTE S.A.S, empresa acreditada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), a través de la Resolución 1169 de 2022, vigente hasta el 19 de junio de 2023, para producir información cuantitativa física y química para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades competentes, ubicada en la Carrera 41 # 73B – 72 en la ciudad de Barranquilla. El grupo de trabajo estuvo conformado por los siguientes profesionales de SERAMBIENTE S.A.S:

CARLOS SULBARAN VILLAFANE

Ingeniero de Campo

VALERIE M. GÓMEZ DOMÍNGUEZ

Analista técnico

ANA MILENA ARIZA BLANCO

Coordinador de proyectos Dirección Técnica



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	12
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. GENERALIDADES	14
3.1 ALCANCE	14
3.2 NORMATIVA DE REFERENCIA	14
3.3. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA	14
3.4 EMPRESA RESPONSABLE DEL ESTUDIO	15
4. METODOLOGÍA.....	17
4.1 CARACTERÍSTICAS DEL MONITOREO.....	17
4.1.1 ETAPA DE LABORATORIO	23
4.1.2 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	25
4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	27
4.3 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO.....	28
4.4 DISEÑO DEL ÍNDICE DE CALIDAD	31
5. NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA.....	37
6. RESULTADOS	40
6.1. MEDICIONES EN CAMPO	40
6.2. MEDICIÓN DE LABORATORIO	40
6.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	47
7. CONCLUSIONES.....	107
8. REFERENCIAS	110
9. ANEXOS.....	119



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Empresas responsables de los análisis de las muestras para agua superficial.	15
Tabla 2. Datos generales del estudio.....	16
Tabla 3. Identificación de las muestras.	16
Tabla 4. Equipos y métodos analíticos para la medición de los parámetros <i>In-situ</i>	18
Tabla 5. Listado de los métodos empleados para el análisis de las muestras.....	18
Tabla 6. Listado de los métodos empleados para la toma de muestra.	20
Tabla 7. Índices ecológicos.	25
Tabla 8. Descripción de los puntos de monitoreo.	27
Tabla 9. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo.	29
Tabla 10. Clasificación de la calidad del agua.....	34
Tabla 11. Resumen de la evolución histórica del concepto Índice de Calidad del Agua (ICA).	35
Tabla 12. Artículo 2.2.3.3.9.10 – Decreto 1076/2015 y artículo 18 Decreto 703 de 2018.	37
Tabla 13. Criterios de calidad para usos clase III en la Resolución 0000449 de 2021 de la CRA.	38
Tabla 14. Resultados <i>In situ</i> Vs Resolución 0000449 de 2021 de la CRA.	40
Tabla 15. Resultados de laboratorio Vs Resolución 0000449 de 2021 de la CRA.	41
Tabla 16. Resultados de laboratorio Vs Resolución 0000449 de 2021 de la CRA.	44
Tabla 17. Variables y ponderaciones.....	56
Tabla 18. Clasificación del ICA.	56
Tabla 19. Valor obtenido (índice) – ICA 5 Variables.	57
Tabla 20. Significancia de los índices de contaminación (ICOs)	58
Tabla 21. Resultado final de la determinación de ICOSUS/ICOMO/ICOpH.	58
Tabla 22. Clasificación taxonómica de las morfoespecies del fitoplancton observadas en la ciénaga de Luruaco.	59
Tabla 23. Densidad (Ind/cm ²) de las morfoespecies del fitoplancton en la ciénaga de Luruaco.	60
Tabla 24. Abundancia relativa (%) de las morfoespecies del fitoplancton en la ciénaga de Luruaco	60



Tabla 25. Índices ecológicos aplicados a la comunidad del fitoplancton en la ciénaga de Luruaco.....	63
Tabla 26. Clasificación Taxonómica del zooplancton en la ciénaga de Luruaco.....	64
Tabla 27. Densidad (Ind/L) y Abundancia relativa (%) de las morfoespecies de Zooplancton en la ciénaga de Luruaco	65
Tabla 28. Abundancia relativa (%) de las morfoespecies de Zooplancton en la ciénaga de Luruaco.	66
Tabla 29. Índices ecológicos aplicados a la comunidad de zooplancton en la ciénaga Luruaco.	68
Tabla 30. Clasificación taxonómica de las morfoespecies del perifiton observadas en la ciénaga de Luruaco.	69
Tabla 31. Densidad (Ind/cm ²) de las morfoespecies del perifiton en la ciénaga de Luruaco.....	70
Tabla 32. Índices ecológicos aplicados a la comunidad de perifiton en la ciénaga de Luruaco.	72
Tabla 33. Clasificación taxonómica de los macroinvertebrados bentónicos observadas en la ciénaga de Luruaco.	74
Tabla 34. Densidad (Ind/m ²) de las morfoespecies de Macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga de Luruaco.	75
Tabla 35. Abundancia relativa (%) de las morfoespecies de Macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga de Luruaco.	75
Tabla 36. Clasificación taxonómica de la comunidad de peces reportada en la ciénaga de Luruaco.	78
Tabla 37. Abundancia (Individuos) de la comunidad de peces reportada en la ciénaga de Luruaco.....	78
Tabla 38. Abundancia relativa (%) de la comunidad de peces reportada en la ciénaga de Luruaco.....	79
Tabla 39. Algunos índices de calidad de agua revisados. Se indica con * los índices que se utilizaron para estimar las variables que se usan con más frecuencia.	81
Tabla 40. Variables usadas con más frecuencia en los Índices de Calidad de Agua, según la revisión de los ICA en la literatura.	82
Tabla 41. Normas de calidad de agua revisadas. Se indica con * las Normas que se utilizaron para estimar las variables que se usan con más frecuencia.....	83
Tabla 42.. Parámetros mayormente controlados en la normativa nacional e internacional de calidad de aguas y frecuencia de aparición en las mismas.	85
Tabla 43.. Variables fisicoquímicas, microbiológicas, metales pesados, pesticidas organoclorados y organofosforados n la ciénaga de Luruaco.....	86



Tabla 44. Eigenvalores y porcentaje de varianza del análisis de componentes principales (ACP).	88
Tabla 45. Puntajes de las variables con respecto a los Componentes Principales. Se resaltan en color aquellas variables que presentan más relación con el eje PC 1 y PC 2.	90
Tabla 46. Correlación de las variables en los ejes del Análisis de Correspondencia Canónica. Se resaltan en color aquellas variables con mayor valor en el Eje 1 y Eje 2.....	91
Tabla 47.. Variables seleccionadas para el análisis de correlación de Pearson a partir de los análisis de ACP y ACC.....	92
Tabla 48. Matrix de correlación de Pearson entre las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas.....	93
Tabla 49.. Variables seleccionadas en el criterio estadístico.....	94
Tabla 50. Consolidado de variables y agrupación de acuerdo con el criterio relacionado.	95
Tabla 51. Categoría de calidad de agua y su correspondiente escala de valor y color.....	96
Tabla 52. Resultados del índice de calidad del agua en la ciénaga de Luruaco.....	106
Tabla 53. Anexos del informe técnico	119



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica de los puntos de monitoreo en la Ciénaga de Luruaco. 30



INDICES DE GRAFICAS

Gráfica 1 Variación de la temperatura y el pH en la ciénaga de Luruaco en monitoreo realizado en 2022	48
Gráfica 2. Variación del oxígeno disuelto, DBO ₅ y DQO en la ciénaga de Luruaco en monitoreo realizado en 2022.	49
Gráfica 3 Variación de la conductividad, los sólidos disueltos totales (SDT) y los sólidos suspendidos totales (SST) en la ciénaga de Luruaco en monitoreo realizado en 2022.	50
Gráfica 4 Variación de la dureza cálcica y la dureza total en la ciénaga de Luruaco en monitoreo realizado en 2022.	51
Gráfica 5 Variación de los sulfatos en la ciénaga de Luruaco en monitoreo realizado en 2022.	52
Gráfica 6. Variación del Zinc en la ciénaga de Luruaco en monitoreo realizado en 2022.	53
Gráfica 7 Variación de los coliformes totales y termotolerantes en la ciénaga de Luruaco en monitoreo realizado en 2022.	54
Gráfica 8. Densidad (Ind/L) y Riqueza (No. Morfoespecies) de la comunidad fitoplanctónica en la ciénaga de Luruaco.	61
Gráfica 9. Contribución porcentual de las phyla del fitoplancton en la densidad total en la ciénaga de Luruaco.	62
Gráfica 10 Contribución de las phyla del fitoplancton a la densidad total por punto de monitoreo en la ciénaga de Luruaco.	63
Gráfica 11. Densidad (Ind/L) y Riqueza (No. Morfoespecies) de la comunidad de zooplancton en la ciénaga de Luruaco.	66
Gráfica 12 Contribución porcentual de la densidad total de los phylum zooplanctónicos en la ciénaga Luruaco	67
Gráfica 13 . Contribución a la densidad total de los phyla en los puntos de monitoreo en la ciénaga Luruaco	68
Gráfica 14 Densidad (Ind/cm ²) y Riqueza (No. Morfoespecies) de la comunidad perifítica.	71
Gráfica 15. Contribución porcentual de las phyla del perifiton a la densidad total en la ciénaga de Luruaco.	71
Gráfica 16. Contribución de las phyla del perifiton a la densidad total por punto de monitoreo en la ciénaga de Luruaco.	72



Gráfica 17. Densidad (Ind/m ²) y Riqueza (No. Morfoespecies) de la comunidad de Macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga de Luruaco.....	74
Gráfica 18. Contribución de las familias de Macroinvertebrados bentónicos a la densidad total por punto de monitoreo en la ciénaga de Luruaco.	76
Gráfica 19. Contribución porcentual de las familias de Macroinvertebrados bentónicos a la densidad total en la ciénaga de Luruaco.	77
Gráfica 20. Abundancia (No. Individuos) y Riqueza (No. Especies) de la comunidad de peces en la ciénaga de Luruaco.	79
Gráfica 21 Análisis de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas en la ciénaga de Luruaco.	89
Gráfica 22. Correlación de las variables fisicoquímicas en el Componente Principal 1.....	89
Gráfica 23. Correlación de las variables fisicoquímicas en el Componente Principal 2.....	90
Gráfica 24. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) en 7 puntos de muestreos de la ciénaga de Luruaco. Las variables fisicoquímicas están representadas en color azul, los puntos de muestreos en puntos de color negro y las variables bióticas en puntos azules. Zooplancton densidad (Ind/L): Zoo.Den, zooplancton riqueza (# sp): Zoo.Riq, fitoplancton densidad (Ind/L): Fit.Den, fitoplancton riqueza (# sp): Fit.Riq, Oxígeno disuelto: OD, conductividad: Cond, temperatura: Tem, Demanda Bioquímica de Oxígeno: DBO, Demanda Química de Oxígeno: DQO, dureza cálcica: Dur.C, dureza total: Dur.T, nitratos-Cl: Nitr, Sólidos Disueltos Totales: SDT. Sólidos Suspendidos Totales: SST, sulfatos: Sul, coliformes totales: Col.T, coliformes termotolerantes: Col.Te.....	91
Gráfica 25. Matrix de correlación de Pearson entre las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas (p-value ≤ 0.05 marcados con X).	93
Gráfica 26. Curva de calidad para el arsénico. a= 4.11 b= -1.90. Coeficiente de correlación (r)=0.96.....	99
Gráfica 27. Curva de calidad para el plomo. a= 6.91, b= 1.57, c= -6.13. Coeficiente de correlación (r)=0.99..	99
Gráfica 28. Curva de calidad para el OD. a= 1.3 b= 2.46, c= -4.06, d= 5.3. Coeficiente de correlación (r)=0.99.	102
Gráfica 29. Curva de calidad para el pH. a= 4.66 b= -4.8. Coeficiente de correlación (r)=0.88.....	102
Gráfica 30. Curva de calidad para SST. a= 1.1 b= -9.1, c= 4.7, d= -1.1. Coeficiente de correlación (r)=0.99. .	102
Gráfica 31. Curva de calidad para DBO5. a= 1.18 b= -3.02. Coeficiente de correlación (r)=0.99.....	103



Gráfica 32. Curva de calidad para coliformes totales. $a = 9.99$, $b = 2.87$, $c = 1.22$, $d = -1.24$ coeficiente de correlación $(r) = 0.99$ 103

Gráfica 33. Curva de calidad para el nitrato (NO_3). $a = -7.7$, $b = 1.00$, $c = -3.63$. Coeficiente de correlación $(r) = 0.98$ 105

Gráfica 34. Curva de calidad para el fitoplancton. $a = 1.01$, $b = 1.47$, $c = 1.07$, $d = -2.9$. Coeficiente de correlación $(r) = 0.99$ 105



INDICES DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Punto 1.....	27
Fotografía 2. Punto 2.....	27
Fotografía 3. Punto 3.....	27
Fotografía 4. Punto 4.....	27
Fotografía 5. Punto 5.....	28
Fotografía 6. Punto 6.....	28
Fotografía 7. Punto 7.....	28



1. INTRODUCCIÓN

La **CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO C.R.A.**, contrató los servicios de **SERAMBIENTE S.A.S.**, para desarrollar una caracterización de agua superficial en siete (7) puntos, ubicados en la ciénaga de Luruaco en el departamento del Atlántico; con el fin de verificar el estado de la calidad del agua para su programa de control y seguimiento ambiental.

El monitoreo se realizó el 03 de octubre 2022. Las muestras fueron tomadas y analizadas por el laboratorio **SERAMBIENTE S.A.S.**; dicho laboratorio se encuentra acreditados por el IDEAM para la toma de muestras y análisis de parámetros fisicoquímicos, hidrobiológicos y microbiológicos.

El presente informe presenta los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica, hidrobiológica y microbiológica de agua superficial y la elaboración de un índice de calidad de agua para la ciénaga de Luruaco.

El aumento de la población, la expansión de las actividades económicas y urbana están provocando una mayor demanda de agua. La sobreexplotación de las aguas superficiales y subterráneas está poniendo en peligro numerosos recursos por la reducción de las cantidades disponibles y el deterioro de su calidad (Sahoo *et al.*, 2015).

El deterioro de la calidad del agua superficial se está convirtiendo en un problema grave en muchos países y el control de la calidad del agua se encuentra entre las principales prioridades en la política de protección de los recursos. La evaluación de la calidad del agua es un requisito previo para la implementación de políticas de protección del agua y la asignación óptima de diferentes fuentes de agua según sus usos (Kachroud *et al.*, 2019).

El objetivo de un Índice de Calidad de Agua -ICA- es clasificar las aguas en relación con sus características biológicas, químicas y físicas, definiendo sus posibles usos y gestionando sus asignaciones. Los ICAs pueden considerarse como modelos de calidad del agua, es decir, una representación simplificada de una realidad compleja, donde se seleccionan variables y se definen métodos para ponderar y agregar las variables (Alves *et al.*, 2014). En este informe, se propone evaluar la calidad del agua de la ciénaga Luruaco y elaborar un Índice de Calidad de Agua (ICA) como herramienta complementaria para su diagnóstico.



2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la calidad del agua de la ciénaga de Luruaco y elaborar un índice de calidad de aguas como herramienta complementaria para su diagnóstico.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización fisicoquímica, microbiológica e hidrobiológica de la ciénaga de Luruaco.
- Generar un índice de calidad ambiental (ICA) a partir de los análisis y las caracterizaciones realizadas en la ciénaga de Luruaco e información complementaria.
- Determinar la calidad del agua en la ciénaga de Luruaco a partir de los resultados obtenidos por el índice de calidad ambiental.



3. GENERALIDADES

3.1 Alcance

Análisis de calidad del agua del embalse de la ciénaga de Luruaco en el departamento del Atlántico, basados en la caracterización fisicoquímica, microbiológica e hidrobiológica de las aguas superficiales, con la generación y aplicación de un índice de calidad ambiental (ICA).

3.2 Normativa de referencia

Se actúa con relación a la caracterización del agua superficial, teniendo en cuenta los requerimientos establecidos por el cliente, reportando las concentraciones obtenidas en los parámetros analizados, realizando comparaciones con los objetivos de calidad establecidos en la Resolución 0000449 de 2021 de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA y el Decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, teniendo en cuenta como principal criterio de calidad la preservación de flora y fauna.

3.3. Información de la empresa

Razón Social:	CORPORACIÓN AUTÓNOMA DREGIONAL DEL ATLÁNTICO C.R.A
Ciudad:	Barranquilla
Departamento:	Atlántico
Dirección:	Carrera 66 # 54 - 43
Actividad Económica:	Empresa encargada de ejecutar las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, así como dar cumplimiento a las disposiciones legales vigentes.



3.4 Empresa responsable del estudio

El monitoreo fue realizado por el laboratorio de Servicios de Ingeniería y Ambiente S.A.S. Las empresas responsables de cada uno de los análisis se detallan en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Empresas responsables de los análisis de las muestras para agua superficial.

Laboratorio	Parámetro	Resolución de Acreditación
SERAMBIENTE S.A.S	Oxígeno disuelto	Resolución 1169 de 2022
	Temperatura	
	pH	
	Conductividad	
	Transparencia Secchi	
	Dureza total	
	Dureza cálcica	
	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	
	Sólidos Disueltos Totales (SDT)	
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	
	Nitratos	
	Nitritos	
	Nitrógeno amoniacal	
	Fósforo total	
	Ortofosfatos-Cl	
	Detergentes (SAAM)	
	Grasas y aceites	
	Hidrocarburos totales	
	Sulfuros	
	Sulfatos	
	Macrófitas acuáticas	
	Fitoplancton	
	Zooplancton	
	Peces	
	Perifiton	
	Macroinvertebrados bentónicos	
CISLAB TIP	Arsénico total	Resolución 0780 de 2022
	Cadmio total	
	Cobre total	
	Cromo total	
	Mercurio total	
	Plomo total	
	Zinc total	
CHEMILAB S.A.S	Clorofila a	
SGS COLOMBIA S.A.S	Pesticidas organofosforados totales	Resolución 0790 de 2022
	Pesticidas organoclorados totales	
HIDROLAB LTDA	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Resolución 1406 de 2021
LIMA S.A.S.	Coliformes termotolerantes	Resolución 1445 de 2022
	Coliformes totales	



Fuente: CISLAB TIP., CHEMILAB S.A.S., SGS COLOMBIA S.A.S., HIDROLAB LTDA., LIMA S.A.S., SERAMBIENTE S.A.S. 2022.

Los datos generales del monitoreo, identificación de cada una de las muestras y los puntos de monitoreo, se detallan en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Datos generales del estudio.

Fecha de monitoreo	03 de octubre de 2022
Lugar de monitoreo	Ciénaga de Luruaco
Duración del monitoreo	1 día
Puntos de monitoreo	○ Punto 1. Ciénaga Luruaco ○ Punto 2. Ciénaga Luruaco ○ Punto 3. Ciénaga Luruaco ○ Punto 4. Ciénaga Luruaco ○ Punto 5. Ciénaga Luruaco ○ Punto 6. Ciénaga Luruaco ○ Punto 7. Ciénaga Luruaco
Tipo de estudio	Estudio de caracterización de agua superficial

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2022.

Tabla 3. Identificación de las muestras.

Sitio de muestreo	Ciénaga de Luruaco, departamento del Atlántico			
Tipo de estudio	Estudio de caracterización de fisicoquímico, microbiológico e hidrobiológico.			
Identificación de las muestras	No. de reporte	Laboratorio	Fecha de monitoreo	Puntos
177678	12820 15187*	SERAMBIENTE S.A.S.	03/10/2022 *	P1 Ciénaga de Luruaco
177732*				P2 Ciénaga de Luruaco
177679				P3 Ciénaga de Luruaco
177733*				P4 Ciénaga de Luruaco
177680				P5 Ciénaga de Luruaco
177734*				P6 Ciénaga de Luruaco
177681				P7 Ciénaga de Luruaco
177735*				
177682				
177736*				
177683				
177737*				
177684				
177738*				

*ID Muestra hidrobiológica

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2022.



4. METODOLOGÍA

4.1 Características del monitoreo

El muestreo se realizó según los requerimientos de la organización, los cuales fueron determinar las características fisicoquímicas, microbiológicas e hidrobiológicas en agua superficial tomadas en siete (7) puntos de monitoreo, los cuales se ubicaron en la ciénaga de Luruaco, en el departamento del Atlántico, seleccionados por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico-CRA.

Los métodos empleados siguen los lineamientos y técnicas recomendados en la Guía para el Monitoreo de Vertimientos, Aguas Superficiales y Subterráneas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos-U.S EPA en su Handbook for Analytical Quality Control in Water and Wastewater Laboratories, y por la Asociación Americana de Trabajos del Agua- AWWA- en el American Standard Methods for Examination of Water and Wastewater Edición 23 (2017), además de la norma técnica Colombiana NTC-ISO 17025 “Requisitos Generales de Competencia de Laboratorio de Ensayo y calibración (ICONTEC, 2005).

La toma de muestras se realizó el 03 de octubre de 2022, implementando la metodología descrita en los procedimientos internos de SERAMBIENTE S.A.S., *PO-PSM-01 Planeación y ejecución del servicio, PO-PSM-45 Muestreo de aguas, PO-PSM-35 Procedimiento para toma y procesamiento de muestras de plancton, PO-PSM-36 Procedimiento para toma y procesamiento de muestras de perifiton, PO-PSM-37 Procedimiento para toma y procesamiento de muestras de macroinvertebrados bentónicos, PO-PSM-38 Procedimiento para toma y procesamiento de muestras de peces y PO-PSM-39 Procedimiento para toma y procesamiento de muestras de macrófitas.*

El tipo de muestra fue de tipo “simple”, para tal fin, se utilizó un balde con el cual se tomó la muestra, y posteriormente se llenaron los diferentes recipientes de vidrio ámbar o plástico-opaco, los cuales fueron preservados (acidificación y/o refrigeración) teniendo en cuenta el análisis a realizar.

Asimismo, para las mediciones de los parámetros *in situ* se realizó la verificación de la calibración de los equipos utilizados, de lo cual se dejó registro en los formatos de campo. Posteriormente, se adelantó la determinación de *conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, temperatura y*



transparencia; efectuando las lecturas en la mayor brevedad posible, con el fin de minimizar la oxigenación natural de las muestras. En la **Tabla 4**, se presentan los equipos empleados para la medición de dichos parámetros, así como el método analítico empleado, límites de cuantificación e incertidumbre de estos.

Tabla 4. Equipos y métodos analíticos para la medición de los parámetros *In-situ*.

Parámetro	Equipo utilizado	Método analítico	Límite de cuantificación del método	Incertidumbre como factor del método
pH	Multiparámetro AZ Instruments Corp.	SM 4500H ⁺ B	NA	±0.046
Oxígeno disuelto		ASTM 888-18, B	NA	±0.0146
Temperatura		SM 2550 B	NA	NA
Conductividad eléctrica		SM 2510 B	NA	±5.047
Transparencia	Método del disco secchi	NE	NA	NA

NA: No aplica.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

Finalmente, es importante mencionar que los métodos empleados para el análisis fisicoquímico y microbiológico de las muestras de agua superficial, se describen en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Listado de los métodos empleados para el análisis de las muestras

Parámetro	Método Analítico	Límite de cuantificación	Incertidumbre como factor
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	SM-5210 B	2.0	0.1157
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	SM-5220 D	10	0.09
Detergentes (SAAM)	SM 5540 C	0.40	0.146
Dureza cálcica	SM 3500 CA B	4.0	0.0058
Dureza total	SM 2340 C	2	0.0058
Fósforo total	SM 4500 P B E	0.05	0.0329
Grasas y aceites	SM 5520 B	10	0.0154
Hidrocarburos totales	SM 5520 B F	10	0.0232
Nitratos Cl	EPA 300.0 Modificado. REV 2.1. agosto 1993.	0.3	0.0079
Nitritos	SM 4500 NO ₂ B	0.0050	0.0378
Nitrógeno amoniacal	SM 4500 NH ₃ B C	0.2	0.018
Ortofosfatos-Cl	EPA 300.0 Modificado. Rev. 2.1. Agosto 1993.	0.2	0.0135
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	SM 2540 C	5.0	0.025
Sólidos Suspendedidos Totales (SST)	SM 2540 D	5.0	0.0429
Sulfatos	SM 4500 SO ₄ E	10	0.025
Sulfuros	SM 4500 S ₂ F	0.85	0.1077
Clorofila	SM 10200 H	0.200	NE
Pseudomona aeruginosa	SM 9213 F (2)	1.8	NE
Metales totales			
Arsénico total	SM 3030 F. 2017 SM 3120 B. 2017	0.003	0.093
Cadmio total		0.002	0.101
Cobre total		0.002	0.073



Parámetro	Método Analítico	Límite de cuantificación	Incertidumbre como factor
Cromo total		0.002	0.079
Mercurio total	SM 3112 B. 2017	0.0005	0.167
Plomo total	SM 3030 F. 2017	0.003	0.089
Zinc total	SM 3120 B. 2017	0.003	0.110
Microbiológicos			
Coliformes totales	SM 9221 B	1.8	±0.44%
Coliformes termotolerantes	SM 9221 E	1.8	±0.42%
Pesticidas organoclorados			
4.4 DDT	EPA 8081 B	0.000049	0.00002
4.4. DDD		0.000052	0.00002
4.4-DDE		0.000053	0.00002
Aldrin		0.000053	0.00002
ALPHA-BHC		0.000055	0.00002
b_BHC		0.000052	0.00004
cis- clordano		0.000052	0.00004
d_BHC		0.000050	0.00002
Dieldrin		0.000048	0.00004
Endosulfan I		0.000051	0.00004
Endosulfan II		0.000052	0.00004
Endosulfan sulfato		0.000049	0.00004
Endrin		0.000047	0.00004
Endrin aldehído		0.000050	0.00004
Endrin cetona		0.000053	0.00004
g-BHC (Lindano)		0.000049	0.00002
Heptacloro		0.000053	0.00002
Heptacloro epóxido (isomero B)		0.000050	0.00002
Metoxicloro		0.000053	0.00002
Pesticidas Organoclorados Totales		0.000047	NE
trans-clordano		0.000053	0.00002
Pesticidas organofosforados			
Azinfos metil (guti3n)	EPA 8141 B	0.000176	0.00002
Bolstar (sulprofos)		0.000194	0.00002
Clorpirifos (Dursban)		0.000219	0.00002
Coumafos		0.000176	0.00002
Dementon O		0.000216	0.00002
Diazinon		0.000201	0.00002
Diclorvos (DDVP)		0.000211	0.00001
Disulfoton		0.000199	0.00002
Ethoprofos		0.000213	0.00002
Fencholorfos		0.000189	0.00002
Fensulfothion		0.000225	0.00002
Fention		0.000198	0.00002
Merphos		0.000202	0.00002
Metil Paration		0.000176	0.00002
Mevinfos		0.000224	0.00002
Naled		0.000233	0.00001
Pesticidas Organofosforados Totales		0.000176	NE
Phorate		0.000215	0.00001



Parámetro	Método Analítico	Límite de cuantificación	Incertidumbre como factor
Stirofos		0.000224	0.00002
Tokution (prothiofos)		0.000186	0.00002
Tricloronato		0.000197	0.00002
Comunidades Hidrobiológicas			
Fitoplancton	SM 10200F	NA	1.94%
Zooplancton	SM 10200 G	NA	2.12%
Perifiton	SM 10300 C	NA	0.23%
Macroinvertebrados bentónicos	SM 10500 C y D	NA	3.83%-10.95%
Peces	SM 10600 A y D	NA	NA
Macrófitas	SM 10400 B y D	NA	12.72%

*NA: No aplica; NE: No específica

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, LIMA S.A.S, CHEMILAB, HIDROLAB, SGS COLOMBIA S.A.S. y CISLAB TIP, 2022.

La recolección y preservación de las muestras de las comunidades hidrobiológicas monitoreadas se realizó de acuerdo a las metodologías consignadas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017). En la **Tabla 6**, se enlistan los métodos seguidos para la toma de cada uno de los parámetros estudiados.

Tabla 6. Listado de los métodos empleados para la toma de muestra.

Parámetro Hidrobiológico	Método muestreo
Fitoplancton	SM.10200 B.
Zooplancton	SM.10200 B y G
Perifiton	SM.10300 B.
Macroinvertebrados bentónicos	SM.10500 B.
Macrófitas	SM.10400 B y D
Peces	SM.10600 A, B y C.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S. 2022.

La toma de muestras hidrobiológicas se hizo conforme a lo establecido en los siguientes procedimientos de SERAMBIENTE S.A.S., avalados por el IDEAM:

- PO-PSM-35 Procedimiento para toma y procesamiento de muestras de plancton
- PO-PSM-36 Procedimiento para toma y procesamiento de muestras de perifiton
- PO-PSM-37 Procesamiento para toma y procesamiento de muestras de macroinvertebrados
- PO-PSM-38 Procesamiento para toma y procesamiento de muestras de peces
- PO-PSM-39 Procesamiento para toma y procesamiento de muestras de macrófitas

A continuación, se describe brevemente los procedimientos y procesamientos llevados a cabo en campo, en la toma de muestra y preservación de cada uno de los componentes hidrobiológicos evaluados.



4.1.1 Etapa de campo

4.1.1.1 Fitoplancton

Debido a que se pretende tener información cualitativa y cuantitativa de la comunidad fitoplanctónica, se filtró en cada punto de monitoreo una muestra de agua de 40L; la toma se realizó a nivel sub-superficial (20-30 cm de la superficie), haciendo uso de una red, con poro de 23µm, para el filtrado.

Las muestras fueron fijadas *in situ* añadiendo 0.3mL de Lugol por cada 100mL y formalina tamponada agregando 2.5mL por cada 100mL de muestra, para una concentración final mínima del 2.5%. Las muestras fueron conservadas en un sitio oscuro y fresco hasta su posterior análisis.

4.1.1.2 Zooplancton

Para la toma de muestra de zooplancton, con ayuda de un balde aforado se tomó agua a nivel superficial y se filtraron entre 40L de agua con una malla de 55 µm. Posteriormente se lavaron desde su parte externa las paredes de la red con agua destilada utilizando un frasco lavador; de este modo se asegura que los organismos sean todos depositados en el vaso colector de la red.

El material filtrado fue depositado en recipientes de 150 mL, estos fueron llenados por completo, para evitar el deterioro de la muestra por agitación y el desecamiento de organismo por la adhesión a las paredes del frasco.

Antes de la preservación de las muestras tomadas, estas fueron narcotizadas con 5 mL de cloruro de magnesio por cada 100 mL de muestra, durante 10 minutos, con el fin de evitar el estrés en los organismos, evitar la contracción de sus cuerpos y que su muerte sea poco traumática. Pasado este tiempo las muestras fueron fijadas con formalina tamponada al 5%, añadiendo 5 mL por cada 100 mL de muestra, para una concentración final de 5%. Las muestras al final fueron ubicadas en un sitio oscuro y fresco hasta su posterior análisis.

4.1.2 Perifiton

Para la toma de muestra de perifiton se procedió a identificar sustratos naturales con posibles colonias de esta comunidad (rocas, ramas y partes de macrófitas). Una vez localizadas las colonias y utilizando cuadrantes de film plásticos de diferentes medidas (hasta lograr coleccionar un área



aproximada de 100 cm²) y un cepillo de cerda suave se realizó la remoción, luego lavando con agua limpia en el recipiente donde se preserva la muestra se da por sentado la recolecta de la muestra. En ocasiones en el frasco colector se depositan segmentos de macrófitas, que se encuentren sumergidos (unos centímetros más largos que el sector de interés).

La muestra fue preservada con lugol (0.3mL de lugol por 100mL de la muestra) y formalina tamponada (2.5mL por cada 100mL de muestra). Adicionalmente esta es conservada en un lugar fresco y oscuro, para evitar su exposición al ambiente donde podrían contaminarse o deteriorar.

4.1.3 Macroinvertebrados bentónicos

La toma de muestra para este componente hidrobiológico se realizó haciendo uso de una draga. El tamaño de la muestra fue de 0.09m². Se realizó lanzamiento de la draga en cada uno de los puntos de monitoreo; seguidamente se realizó el tamizaje del sedimento recolectado. Los organismos recolectados se separaron cuidadosamente con pinzas entomológicas de punta fina y fueron depositados en frascos plásticos previamente rotulados y se fijó con etanol al 70%.

4.1.4 Macrófitas

La estimación de cobertura de macrófitas consistió en la proyección de un transecto de 10 m en el área de muestreo, según el criterio del biólogo, teniendo en cuenta todas las características del sistema. Sobre el transecto se colocan unos marcos cuadrados de PVC de 1m² (subdividido en cuadrados de 0.04 m²), con los cuales se hicieron las estimaciones de presencia y coberturas de las especies que queden dentro del marco. Cuando las muestras no pueden ser identificadas en campo, se procede a tomar fotografías *In situ*.

4.1.5 Peces

Para la recolecta de peces se realizaron capturas de individuos mediante uso de atarraya, las jornadas de pesca tuvieron esfuerzos de captura de 20 lances de atarraya por punto de monitoreo. Durante las faenas de pesca los peces capturados, fueron depositados en recipientes con agua hasta terminar la faena de muestreo, esto para evitar la recaptura. Culminada la faena de muestreo se identificaron *In situ* hasta el nivel taxonómico más bajo posible y los individuos fueron devueltos con vida al agua. Posteriormente, representantes de cada morfoespecie fueron fotografiados, con el fin de registrar la coloración en vivo.



El procedimiento para toma y procesamiento de muestras de peces interno de SERAMBIENTE S.A.S, indica que los organismos deben ser identificados en campo, hasta la categoría taxonómica más baja posible, o su nombre común. De igual forma, se tomaron fotografías y son reportadas al personal de laboratorio para corroborar la información.

El análisis en laboratorio de las muestras hidrobiológicas se realizó teniendo en cuenta los siguientes procedimientos internos de SERAMBIENTE S.A.S:

- PO-PSM-33 Procedimientos de control de calidad para variables hidrobiológicas.
- PO-PSM-40 Procedimiento para determinación taxonómica y cuantificación de muestras de plancton.
- PO-PSM-41: Procedimiento para la determinación taxonómica y cuantificación de muestras de perifiton.
- PO-PSM-42: Procedimiento para determinación taxonómica y cuantificación de muestras de macroinvertebrados bentónicos.

4.1.2 Etapa de laboratorio

4.1.2.1 Plancton

La identificación y conteo de fitoplancton y zooplancton se realizó mediante microscopía óptica sobre una cámara de SEDGEWICK–RAFTER. La muestra preservada y almacenada se homogenizó para separar las partículas que se encontraran generando cúmulos, luego con la ayuda de una micropipeta se depositó aproximadamente 1 mL en la cámara y se instaló en el microscopio invertido marca AmScope, para su conteo e identificación se usaron objetivos de 4X, 10X, 25X Y 40X. Se usaron iconografías y descripciones especializadas para la determinación taxonómica. Los datos de conteo se registraron en el formato “planilla de registro de taxones, conteo y recuento de parámetros hidrobiológicos”. Se tomaron fotografías de los organismos como evidencia del procedimiento.

La identificación taxonómica se realizó empleando iconografías y descripciones especializadas para su determinación taxonómica:



○ **Fitoplancton**

Bourrelly (1966, 1968, 1985); Prescott *et al.* (1982); Strebel y Krauter (1988); Huber-Pestalozzi (1961; 1983), Ramírez (2000); la clasificación taxonómica fue confirmada con ayuda de Algaebase.

○ **Zooplancton**

Koste (1978), Gaviria (2000), Reid (1995), Elías (2008) la clasificación taxonómica fue confirmada con ayuda de ITIS (Integrated Taxonomic Information System).

4.1.2.2 Perifiton

La identificación y conteo de perifiton se llevó a cabo mediante la utilización de la cámara SEDGWICK-RAFTER. La muestra preservada y almacenada proveniente del raspado *in-situ* de algún sustrato en campo se homogeniza para separar partículas que se encuentren formando cúmulos, luego con la ayuda de una micropipeta se depositó aproximadamente 1mL en la cámara y se instaló en el microscopio invertido marca AmScope, para su conteo e identificación se usaron objetivos de 4X, 10X, 25X y 40X. Se usó iconografías y descripciones especializadas para la determinación taxonómica. Los datos de conteo se registraron en el formato “planilla de registro de taxones, conteo y recuento de parámetros hidrobiológicos”. Se tomaron fotografías de los organismos como evidencia del procedimiento de análisis de las muestras.

Entre la bibliografía usada para la identificación de especies se encuentran Stevenson *et al.* (1996), Moura (1997), Hoagland *et al.* (1982), Moreno-Rodriguez (2017), entre otros.

4.1.2.3 Macroinvertebrados bentónicos

Los organismos capturados y fijados se determinaron a nivel de familia, usando un estéreo-microscopio 50x Zoom. Para la determinación taxonómica se emplearon claves y descripciones taxonómicas especializadas: Roldán (1996); Angrisano *et al.* (2001), Salazar-Vallejo *et al.* (1988), Diaz y Puyana (1994), Moreno-Rodriguez, 2017.

4.1.2.4 Macrófitas

Se identificó la presencia o ausencia de plantas *In situ*, ayudados de claves e ilustraciones taxonómicas, para su identificación tales como Kahn *et al.* (1993), la guía identificación y caracterización de grupos biológicos del instituto Humboldt–Fundación Omacha (2015). Cuando se



observan macrófitas su verificación se realiza teniendo en cuenta la información que reposa en la página web del herbario de la universidad nacional.

4.1.2.5 Peces

La corroboración de la identificación de las especies observadas, registradas y capturadas *in situ* se realizó empleando diversas claves y guías para peces: Eigenmann (1922), Schultz (1944), Miles (1947), Dahl (1971), Géry (1977), Nelson (1984), Maldonado-Ocampo *et al.* (2005), Buitrago (2007), Maldonado-Ocampo *et al.* (2008), INCODER (2007), Montoya-López (2013) entre otros.

4.1.3 Análisis de información

Los datos de las comunidades hidrobiológicas se organizaron por especies en una matriz empleando el programa Microsoft Excel para Windows 2019, donde se registraron las densidades obtenidas teniendo en cuenta cada una de las estaciones. A partir de estas se construyeron gráficos a fin de establecer el aporte a la densidad por parte de los diferentes grupos taxonómicos y su distribución en el área de estudio.

Posteriormente, se calcularon índices ecológicos que permitieron confluir un gran número de variables bióticas (especies-morfoespecies) y datos en un solo valor característico para una comunidad. Para esto se utilizó el programa estadístico Past versión 3.0, determinando la riqueza de Margalef (d), uniformidad de Pielou (J'), dominancia (D) y diversidad de Shannon (H' bits) detallados en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Índices ecológicos.

Índices	Concepto	Formula	Variables	Rango
Equidad de Pielou (J')	Mide la proporción de la diversidad observada con la máxima diversidad esperada (Moreno, 2001), indica la uniformidad de las especies una muestra, donde los valores más cercanos a uno muestran mayor uniformidad.	$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$	J': Índice de Pielou H': Índice de Shannon-Wiener.	0– 1
Dominancia de Simpson (D)	Mide la probabilidad de que dos individuos de una muestra tomados al azar sean de la misma especie, está influenciado por las especies más dominantes (Moreno, 2001). Los valores más cercanos a uno indican la dominancia de una o dos especies.	$D_s = \frac{\sum N(n-1)}{N(N-1)}$	D: Índice de Simpson. n: Número de individuos de la especie i. N: Número total de individuos.	0–1



Índices	Concepto	Formula	Variables	Rango
Índice de Shannon Wiener (Diversidad)	Tiene en cuenta la igualdad en el número de organismos por especie (abundancia), un sistema es más diverso cuanto mayor sea la igualdad en las abundancias. $X < 1,5$, Aguas muy contaminadas; $1,5 < X < 3$, Aguas ligeramente contaminadas. $3 < X$, Aguas muy limpias (Moreno, 2001).	$H' = - \sum p_i \ln(p_i)$ $p_i = \frac{N_i}{N}$	H': Índice de Shannon-Wiener. Pi: Abundancia relativa de la especie i. Ni: Número de individuos de la especie i. N: Número total de especies.	$0 - 5$ Con algunas excepciones supera el valor máximo
Índice de Margalef ($D\alpha$)	Es una forma sencilla de medir la biodiversidad ya que proporciona datos de riqueza de especies. Mide el número de especies por número de individuos especificados o la cantidad de especies por área en una muestra (Margalef, 1969)	$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$	S = número de especies N = número total de individuos	$D\alpha < 2$ = zonas de baja biodiversidad $D\alpha > 5$ = Zonas alta biodiversidad.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S. 2022



4.2 Descripción de los puntos de muestreo

A continuación, se presenta la descripción de cada uno de los puntos de monitoreo, los cuales se encuentran relacionados en el **Anexo 2**, Formatos de campo (*plan de monitoreo – FO-PO-PSM-72-13, plan de monitoreo para hidrobiológicos- FO-PO-PSM-33-02, planillas de campo muestreo simple– FO-PO-PSM-45-01, planilla de campo para hidrobiológicos- FO-PO-PSM-33-03 y cadenas de custodia – FO-PO-PSM-13-03*).

Tabla 8. Descripción de los puntos de monitoreo.

Agua superficial e hidrobiológico	
Descripción	Los puntos de monitoreo se encuentran localizados en la ciénaga de Luruaco ubicada en el departamento del Atlántico, seleccionada por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico – CRA, las muestras se caracterizaron por presentar una apariencia semi -clara y alrededor de los puntos de monitoreo se evidencia abundante vegetación.
Registro fotográfico	
	
	
	



Agua superficial e hidrobiológico

Fotografía 5. Punto 5

Fotografía 6. Punto 6

Fotografía 7. Punto 7
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022

4.3 Ubicación de los puntos de monitoreo

En este numeral se presenta la ubicación y las características de los puntos de monitoreo de agua superficial, tomadas en la ciénaga de Luruaco ubicada en el departamento del Atlántico, seleccionadas por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico.

Los puntos de monitoreo se localizaron según el sistema Magna Sirgas origen WGS84 y Nacional, las coordenadas se relacionan en la **Tabla 9**Tabla 9. Del mismo modo, en la **Figura 1** se puede observar la localización geográfica de los puntos de monitoreo.



Tabla 9. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo.

Características del monitoreo			Georreferenciación	
Puntos de monitoreo	ID muestra	Hora hh:mm	Geográficas WGS84	Magna sirgas Origen Nacional (m)
P1 Ciénaga de Luruaco	177678	12:50	10°36'35.00"N	2731230.396 N
	177732*		75° 9'51.45"O	4763300.788 E
P2 Ciénaga de Luruaco	177679	12:30	10°36'34.40"N	2731211.126 N
	177733*		75° 9'47.79"O	4763421.016 E
P3 Ciénaga de Luruaco	177680	13:15	10°36'30.09"N	2731073.942 N
	177734*		75° 9'24.87"O	4764107.584 E
P4 Ciénaga de Luruaco	177681	15:10	10°36'5.39"N	2730318.360 N
	177735*		75° 9'40.22"O	4763635.782 E
P5 Ciénaga de Luruaco	177682	14:30	10°36'7.02"N	2730363.125 N
	177736*		75° 9'15.01"O	4764402.352 E
P6 Ciénaga de Luruaco	177683	11:20	10°36'51.29"N	2731727.890 N
	177737*		75° 9'37.45"O	4763729.765 E
P7 Ciénaga de Luruaco	177684	12:05	10°36'49.38"N	2731663.573 N
	177738*		75° 9'10.70"O	4764542.354 E

*ID Muestra hidrobiológica

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2022.



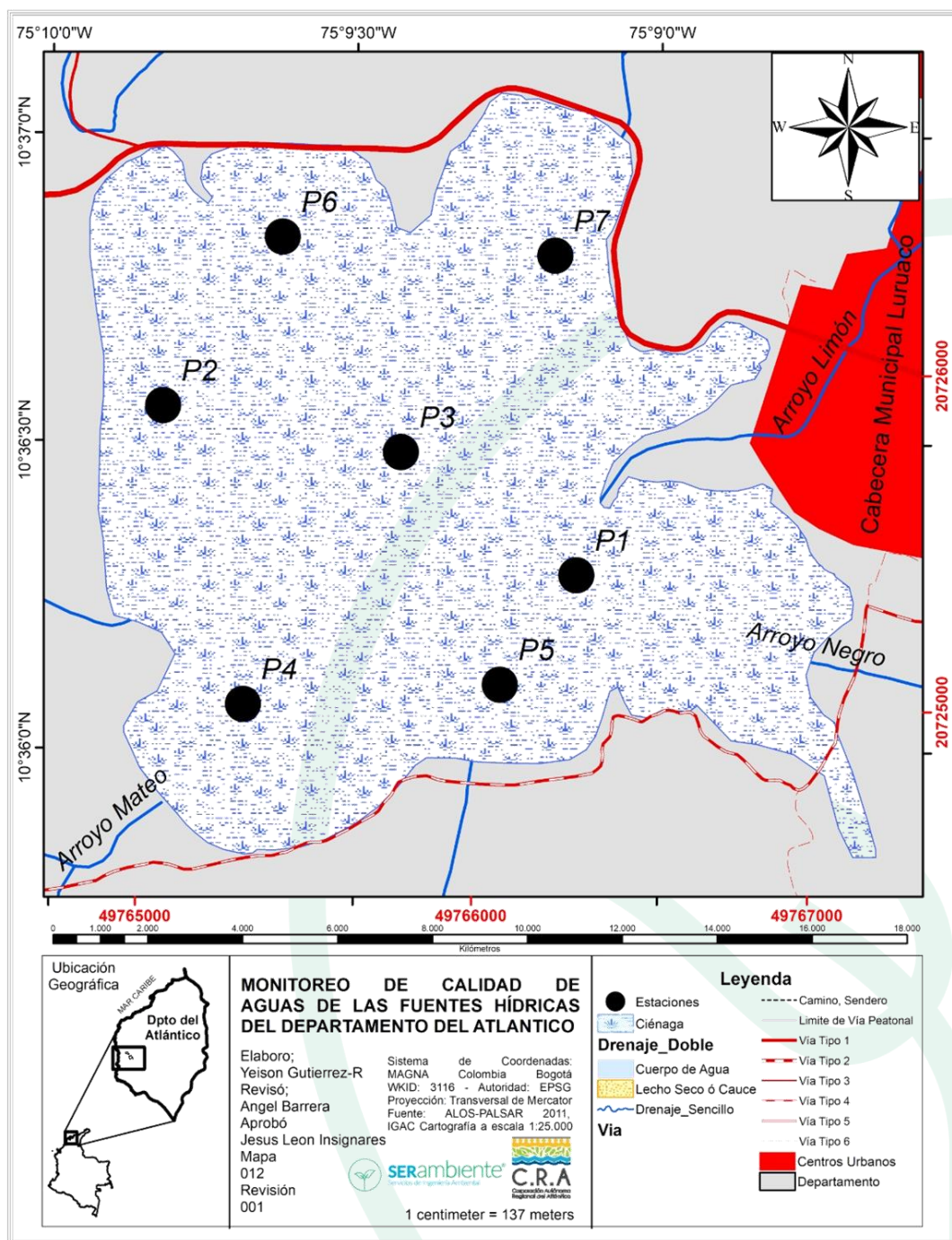


Figura 1. Localización geográfica de los puntos de monitoreo en la Ciénaga de Luruaco.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2022.



4.4 Diseño del Índice de calidad

Para la construcción del Índice de Calidad de Agua se utilizaron los siguientes pasos:

- Selección de variables,
- Transformación, siguiendo una escala común, de estas variables que inicialmente tienen dimensiones diferentes,
- Creación de subíndices por asignación de un factor de ponderación para cada variable transformada,
- Cálculo de una puntuación de índice final utilizando la agregación de subíndices.
- Validación con datos obtenidos en la ciénaga de Luruaco.

4.4.1. Selección de variables.

Para la selección de las variables se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Bibliográfico
- Normativo
- Análisis estadístico multivariado

4.4.1.1. Criterio bibliográfico.

Se revisaron los índices y métodos de monitoreo usados en diferentes países, principalmente los formulados o implementados en humedales continentales (aguas lénticas y embalses). El propósito de esta consulta fue determinar cuáles son las variables de uso más frecuente para el análisis de la calidad del agua.

4.4.1.2. Criterio Normativo.

En la literatura, el desarrollo de los índices de calidad del agua ha evolucionado, debido a la consideración del progreso normativo (por ejemplo, directrices y estándares de la Organización Mundial de la salud -OMS-) sobre la calidad del agua que ha afectado los métodos de ponderación (Kachroud et al., 2019).

En la elaboración del ICA en la ciénaga de Luruaco, se tuvo en cuenta la resolución 0000449 de 2021 donde se establecen los objetivos de calidad para los cuerpos de agua en jurisdicción de la



Corporación Regional Autónoma del Atlántico (CRA) con el fin de extraer las variables del objetivo asociado a la ciénaga de Luruaco y el tipo de uso que actualmente tienen de acuerdo con la normativa, lo cual es esencial para determinar el enfoque del índice de calidad.

De acuerdo con estos usos, se revisaron las variables y criterios contenidos en normas nacionales como el Decreto 1594 de 1984. Además de diferentes normas internacionales, priorizando las de países tropicales.

Se contrastaron las normas y se seleccionaron las variables, teniendo en cuenta como objetivo principal la preservación de fauna y flora.

4.4.1.3. Criterio Estadístico.

Para la utilización de este criterio, se tuvo en cuenta las caracterizaciones realizadas en la ciénaga de Luruaco en noviembre de 2022. Todos los datos se resumieron y analizaron con estadística descriptiva. Previo a los análisis multivariados, se estandarizaron las variables con escala logarítmica; del mismo modo, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para explicar la variabilidad de las variables en los puntos de muestreos, se utilizaron 17 variables del total de variables muestreadas y se descartaron aquellas que se encontraron por debajo del límite de detección o eran cualitativa como la transparencia. Adicionalmente, se exploró la relación entre la riqueza, abundancia de zooplancton y fitoplancton, con las variables fisicoquímicas a través de un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC). También, se evaluó la relación entre el zooplancton y fitoplancton (abundancias) con las variables ambientales a través de un análisis de correlación de Pearson. Todos los análisis estadísticos y gráficos se realizaron con el paquete de software R (R Core Team, 2020) y Past 4.04.

4.4.2. Desarrollo de subíndices y curvas de calidad.

El desarrollo de las curvas de calidad se realizó asignando valores de calidad a diferentes concentraciones, teniendo en cuenta una escala de 0 a 100, siendo 100 la calidad óptima y 0 la calidad más baja. Estos valores de la escala se distribuyeron en rangos de calidad.



Las curvas de calidad y las respectivas expresiones matemáticas se obtienen a partir del software CurveExpert Professional 2.7.3, seleccionando diferentes modelos, teniendo como criterio el mayor coeficiente de regresión, preferiblemente los de valor cercano a 0.99.

4.4.3. Asignación de pesos a los subíndices.

Los valores en la escala para cada variable seleccionada tuvieron en cuenta los resultados del monitoreo, la normativa nacional (Dec. 1594 de 1984), los objetivos de calidad para los cuerpos de agua de la cuenca (Res. 0000449 de 2021 de la C.R.A.) y otras normativas aplicadas a sistemas continentales de países que incluyen a República Dominicana, Ecuador, Venezuela, Perú y México, entre otros; e indicadores nacionales e internacionales.

4.4.4. Agregación de subíndices a la fórmula matemática.

La agregación de los subíndices se realizó mediante una ecuación que representa de forma sencilla y objetiva el nivel de calidad que en este caso se relaciona con la preservación de la flora y la fauna, por ser el principal uso relacionado con el sistema acuático de la ciénaga de Luruaco. Las formas de agregación son diversas con aplicaciones diferentes al igual que su sensibilidad a las variaciones en los valores de los subíndices. Básicamente existen dos formas generalizadas, por sumatoria como la media aritmética y multiplicativa como la media geométrica, cuyas expresiones son:

$$ICA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$$

Media aritmética

$$ICA = \left(\prod_{i=1}^n q_i \right)^{\frac{1}{n}}$$

Media geométrica

El ICA por *media aritmética*, inicialmente fue conocido como índice de contaminación de Prati. Según la historia de los ICA, la idea de Prati *et al.* fue transformar las concentraciones de contaminantes en niveles de contaminación. En el primer paso se clasificó la calidad del agua frente a todas las variables con base en los estándares de calidad del agua, luego en el segundo paso se tomó como referencia un contaminante y se consideró directamente su valor real como índice de referencia. El tercer paso consistió en transformar estos valores en subíndices mediante ecuaciones matemáticas. Esta transformación tuvo en cuenta la capacidad contaminante de las variables relacionadas con una variable de referencia seleccionada (Abbasi & Abbasi, 2012).



El ICA por *media geométrica*, lo propuso Brown *et al.* en 1973 y es el segundo índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSFWQI). Se propuso dicha fórmula para calcular el ICA después de encontrar que la fórmula se adapta mejor con las opiniones de los expertos (Brown *et al.*, 1973).

Prati *et al.* y Brown *et al.* mantuvieron la misma escala de calidad de agua que se indica a continuación:

Tabla 10. Clasificación de la calidad del agua.

Variable	Clasificación de la Calidad del Agua				
	Excelente	Aceptable	Ligeramente contaminado	Contaminado	Altamente contaminado
pH (unidades)	6.5–8.0	6.0–8.4	5.0–9.0	3.9–10.1	<3.9->10.1
DO (% Sat)	88–112	75–125	50–150	20–200	<20 ->200
DBO (ppm)	1.5	3.0	6.0	12.0	>12.0
DQO (ppm)	10	20	40	80	>80
Permanganato (mg/L)	2.5	5.0	10.0	20.0	>20.0
Sólidos suspendidos (ppm)	20	40	100	278	>278
Amonio (ppm)	0.1	0.3	0.9	2.7	>2.7
Nitrato (ppm)	4	12	36	108	>108
Cloruros (ppm)	50	150	300	620	>620
Hierro (ppm)	0.1	0.3	0.8	2.7	>2.7
Manganeso (ppm)	0.05	0.17	0.5	1.0	>1.0
Sulfonatos de alquilbenceno (ppm)	0.09	1.0	3.5	8.5	>8.5
Carbono Cloroformo Exacto (ppm)	1.0	2.0	4.0	8.0	>8.0

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.

La idea principal de ICA es transformar una serie de variables seleccionadas, que son cuantitativas e intensivas, en una sola variable que es cualitativa, ordinal e intensiva. Sin embargo, las variables consideradas tienen diferentes unidades y rangos de valores. Así, en el proceso de agregación, todas las variables deben convertirse en subíndices expresados en una sola escala. En el principio del cálculo del ICA, se requieren opiniones de expertos para la selección de las variables y en la elección de sus pesos en la agregación; en el caso de la Corporación Regional Autónoma, el índice se ha optimizado y aplicado desde el año 2018; adicionalmente la consulta con expertos se realizó en el mismo año a través de la metodología DELPHI (ayuda a tomar decisiones basados en la opinión objetiva o basada en la experiencia de un grupo de especialistas) para asignar un coeficiente de ponderación a cada variable en función de sus impactos potenciales en la calidad del agua. El ICA, se ha implementado en las ciénagas de Mallorquín, Balboa y Rincón (lago del Cisne) a partir del 2018. En el 2021 se realizó una actualización de este índice mediante la incorporación de análisis complementarios basados en sensores remotos y en el 2022 se implementó el Índice de Calidad en el Embalse de El Guajaro.



Se han utilizado diferentes formas de agregar variables. Principalmente la media aritmética ponderada, la media geométrica ponderada, la media cuadrática armónica ponderada y no ponderada y más recientemente, la agregación mediante funciones logarítmicas o basadas en lógica difusa. Los primeros ICA fueron de media aritmética, luego tomaron una forma geométrica. Luego el método de media cuadrática armónica no ponderada se consideró una mejora sobre la media aritmética ponderada y la media geométrica ponderada. En particular, bajo estas condiciones la influencia de los valores de las variables tuvo un impacto directo en el valor del ICA. Así, fuertes anomalías que serían medidas en ciertas variables durante el monitoreo de la calidad del agua, serán observables en el valor del ICA final. Posteriormente, con la generalización del uso de la informática, las agregaciones tomaron otras formas, como las funciones logarítmicas. Sin embargo, incluso en la literatura reciente, la mayoría de los ICA propuestos siguen estando basados en agregaciones aritméticas o geométricas (Kachroud et al., 2019).

La siguiente tabla resume la evolución histórica del concepto Índice de Calidad del Agua (ICA), presenta la estructura, fórmula, número de variables y algunas referencias que han utilizado los ICA:

Tabla 11. Resumen de la evolución histórica del concepto Índice de Calidad del Agua (ICA).

ICA	No de variables	Estructura	Método	Área de aplicación	Referencia
Horton	10	Formula	Media geométrica ponderada	Argentina, México, India, Iran	Singh (1992), Pesce, & Wunderlin (2000), Sedeño-Díaz & López-López (2007), Fataei et al., (2013)
Brown. NSFQI (Fundación Nacional de Saneamiento)	9	Diagrama	Media aritmética y media geométrica ponderada	USA, Brasil, Portugal, Egipto, Nigeria, Iran	Wills & Irvine (1996), Soltan (1999), Bordalo et al., (2006); Abrahão et al., (2007); Akoteyon et al., (2011); Shokuhi et al., (2012)
Bhargava	Acorde al uso	Formula	Producto ponderado	India	Parmar & Parmar (2010)
Dinius	12	Ecuaciones	Media geométrica ponderada	USA	Dinius (1972, 1987)
CCMEWQI (Consejo Canadiense del Ministro de Medio Ambiente)	Encima de 47	Formula	Suma de cuadrados	Canadá, Algeria	Khan et al., (2005), Lumb et al., (2006), Hamlat et al., (2014)



ICA	No de variables	Estructura	Método	Área de aplicación	Referencia
Oregon	8	Ecuaciones	Media cuadrática armónica	USA	Cude (2001)
Nuevo ICA Said & al.	5	Formula	Logarítmico	USA	Said et al., (2004)

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.

Basado en lo descrito en la literatura y teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de los ICA, se escogió como método de agregación la media aritmética ponderada, puesto que es una de las formas más simples de agregación, cuya expresión es:

$$ICA_{Acc} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i SubI_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

4.4.5. Establecimiento de la escala de calidad.

Para determinar e identificar el estado ambiental de las ciénagas se estructuró una escala de valores y colores, teniendo en cuenta que la calidad óptima o excepcional de estas se acerca al valor de cien (100), mientras que la peor condición (mala calidad), para la preservación de flora y fauna se acerca a 1.

4.4.6. Validación.

Con la finalidad de comprobar el funcionamiento eficaz del índice para la ciénaga de Luruaco se realizó un análisis de validación empleando los datos de los monitoreos realizados para esta investigación.



5. NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA

○ Decreto 1076 de 2015

Artículo 2.2.3.3.9.10 Transitorio. Criterios de calidad de preservación de flora y fauna.

Parágrafo. Como criterios adicionales de calidad para los usos de que trata el presente artículo, no deben presentarse sustancias que impartan olor o sabor a los tejidos de los organismos acuáticos, ni turbiedad o color que interfieran con la actividad fotosintética.

Tabla 12. Artículo 2.2.3.3.9.10 – Decreto 1076/2015 y artículo 18 Decreto 703 de 2018.

Parámetro	Expresado como	Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y estuarina
Cloro Fenoles	Cloro Fenoles	0.5 CL	0.5 CL	0.5 CL
Difenil	Concentración de	0.0001 CL	0.0001 CL	0.0001 CL
Oxígeno disuelto	-	5	4	4
pH	Unidades de pH	6.5 - 9.0	4.5 - 9.0	6.5 - 8.5
Sulfuro de hidrogeno ionizado	H ₂ S	0.0002 CL	0.0002 CL	0.0002 CL
Amoniaco Total	NH ₃	0.1 CL	0.1 CL	0.1 CL
Arsénico Total	As	0.1 CL	0.1 CL	0.1 CL
Bario Total	Ba	0.1 CL	0.1 CL	0.1 CL
Berilio Total	Be	0.1 CL	0.1 CL	0.1 CL
Cadmio Total	Cd	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Cianuro libre	CN ⁻	0.05 CL	0.05 CL	0.05 CL
Cinc	Zn	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Cloro total residual	Cl ₂	0.1 CL	0.1 CL	0.1 CL
Cobre Total	Cu	0.1 CL	0.1 CL	0.1 CL
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Fenoles es monohídricos	Fenoles es	1 CL	1 CL	1 CL
Grasas y aceites	Grasas como	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Hierro Total	Fe	0.1 CL	0.1 CL	0.1 CL
Magnesio Total	Mn	0.1 CL	0.1 CL	0.1 CL
Mercurio	Hg	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Níquel Total	Ni	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Plaguicidas Organoclorados	Concentración de	0.001 CL	0.001 CL	0.001 CL
Plaguicidas organofosforados	Concentración de	0.05 CL	0.05 CL	0.05 CL
Plata Total	Ag	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Plomo Total	Pb	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Selenio Total	Se	0.01 CL	0.01 CL	0.01 CL
Tensoactivos	Sustancias activas al	0.143 CL	0.143 CL	0.143 CL

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible 2015.



Se resalta que los parámetros enlistados en el Decreto 1076 de 2015 en el artículo 2.2.3.3.9.10 y la Resolución 0000449 de 2021 de la CRA (Clase V) para la preservación de flora y fauna que están expresados en unidades de concentración letal (CL), no son comparables con las unidades reportadas por nuestro laboratorio.

○ **Resolución 0000449 de 2021 de la CRA**

Se tuvo en cuenta los objetivos de calidad establecidos para el complejo de humedales y ciénagas de la cuenca de arroyos directos al mar Caribe, quienes se encuentran catalogados en Clase III (Corresponde a los valores asignados a la calidad de las ciénagas, lagunas, humedales y demás cuerpos lenticos de aguas ubicados dentro de la jurisdicción de la CRA destinados a protección de flora y fauna y pesca restringida y monitoreada), cuyos topes de calidad a corto plazo son los que se muestran en la tabla que se presenta a continuación y con uso principal de preservación de flora y fauna.

Tabla 13. Criterios de calidad para usos clase III en la Resolución 0000449 de 2021 de la CRA.

Parámetro	Expresado como	Valor más restrictivo (Máximo que se puede obtener)
Parámetros orgánicos		
DBO ₅	Mg/L	20
OD	Mg/L	>4
Coliformes totales	NPM/100 ml	5000
Parámetros nutrientes		
Nitrógeno amoniacal	Mg/L	0.3
Nitratos	Mg/L	1
Nitritos	Mg/L	0.5
Fosforo total	Mg/L	0.1
Sólidos		
Sólidos suspendidos	Mg/L	20
Parámetros de interés sanitario		
Amoniacal	CL 96/50	1
Arsénico	CL 96/50	0,05
Bario	CL 96/50	1
Berilio	CL 96/50	0,1
Cadmio	CL 96/50	0,01
Cianuro Libre	CL 96/50	0,2
Zinc	CL 96/50	2
Cloruros	Mg/L	250
Cobalto	Mg/L	0.05
Cobre	CL 96/50	0.2
Color	Unidades escala Platino - Cobalto	75
Compuestos fenólicos	Mg/L	0.002



Parámetro	Expresado como	Valor más restrictivo (Máximo que se puede obtener)
Cromo (Cr+6)	Mg/L	0.05
Difenil policlorados	Concentración de agentes activos	No detectable
Mercurio	Mg/L	0.002
pH	Unidades	5.0-9
Plata	Mg/L	0.05
Plomo	Mg/L	0.05
Selenio	Mg/L	0.01
Sulfatos	Mg/L	400
Tensoactivos	Mg/L	0.5
Vanadio	Mg/L	0.1

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA. 2023.



6. RESULTADOS

El análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en aguas, se remite a la presentación de los resultados (Anexo 5. Resultados de los análisis de laboratorio).

6.1. Mediciones en campo

En la **Tabla 14**, se presentan los valores para cada una de las variables medidas en campo y su comparación con la normativa aplicable.

Tabla 14. Resultados *In situ* Vs Resolución 0000449 de 2021 de la CRA.

Parámetros				pH	Oxígeno disuelto	Conductividad	Temperatura
Unidades				Unidades	mg/L	(µS/cm)	°C
Concentraciones	03/10/2022	P1 Ciénaga de Luruaco	12:50	9.62	6.5	861	35.9
		P2 Ciénaga de Luruaco	12:30	9.68	6.8	859	34.7
		P3 Ciénaga de Luruaco	13:15	9.77	7.4	856	35.6
		P4 Ciénaga de Luruaco	15:10	9.84	8.1	857	33.9
		P5 Ciénaga de Luruaco	14:30	9.76	8.0	854	33.4
		P6 Ciénaga de Luruaco	11:20	9.60	6.0	852	35.1
		P7 Ciénaga de Luruaco	12:05	9.66	6.3	846	35.0
Resolución 0000449 de 2021 de la CRA				5.0-9.0	>4	NE	NE
Cumplimiento				Cumplen	Cumplen	NA	NA

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

6.2. Medición de laboratorio

En la **Tabla 15**Tabla 14, se presentan los valores para cada una de las variables medidas en campo y su comparación con la normativa aplicable.



Tabla 15. Resultados de laboratorio Vs Resolución 0000449 de 2021 de la CRA.

Parámetro	Unidades	INC	P1 Ciénaga de Luruaco	P2 Ciénaga de Luruaco	P3 Ciénaga de Luruaco	P4 Ciénaga de Luruaco	Resolución 0000449 de 2021 de la CRA
			03/10/2022				
			Hora: 12:50	Hora: 12:30	Hora: 13:15	Hora: 15:10	
			ID 177678	ID 177679	ID 177680	ID 177681	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	0.1157	3.3	3.4	3.1	4.3	20
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	0.09	< 10	10	< 10	11	NE
Detergentes (SAAM)	mg SAAM/L	0.146	< 0.40	< 0.40	< 0.40	< 0.40	0.5
Dureza cálcica	mg CaCO ₃ /L	0.0058	59.2	55.2	63.9	59.5	NE
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	0.0058	126.8	103.3	119.1	111.0	NE
Fósforo total	mg P/L	0.0329	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.1
Grasas y aceites	mg/L	0.0154	< 10	< 10	< 10	< 10	NE
Hidrocarburos totales	mg HT/L	0.0232	< 10	< 10	< 10	< 10	NE
Nitratos Cl	mg N-NO ₃ -/L	0.0079	< 0.3	< 0.3	0.446	< 0.3	1
Nitritos	mg N-NO ₂ -/L	0.0378	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050	0.5
Nitrógeno amoniacal	mg N-NH ₃ /L	0.018	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0.3
Ortofosfatos-Cl	mg P-PO ₄ -/L	0.0135	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	NE
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L	0.025	363	332	335	345	NE
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	0.0429	29.5	33.0	27.5	27.5	20
Sulfatos	mg SO ₄ =/L	0.025	72	72	75	74	400
Sulfuros	mg S ₂ -/L	0.1077	<0.85	<0.85	<0.85	<0.85	NE
Clorofila a	mg/m ³ Clorofila a	NE	<0.200	<0.200	<0.200	<0.200	NE
Pseudomona aeruginosa	NMP/100mL	NE	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	NE
Arsénico total	mg/L	0.093	<0.003	0.017	<0.003	<0.003	0.05
Cadmio total	mg/L	0.101	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.01
Cobre total	mg/L	0.073	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.2
Cromo total	mg/L	0.079	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.05
Mercurio total	mg/L	0.167	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.002
Plomo total	mg/L	0.089	<0.003	0.006	<0.003	<0.003	0.05



Parámetro	Unidades	INC	P1 Ciénaga de Luruaco	P2 Ciénaga de Luruaco	P3 Ciénaga de Luruaco	P4 Ciénaga de Luruaco	Resolución 0000449 de 2021 de la CRA
			03/10/2022				
			Hora: 12:50	Hora: 12:30	Hora: 13:15	Hora: 15:10	
			ID 177678	ID 177679	ID 177680	ID 177681	
Zinc total	mg/L	0.110	<0.003	0.047	0.070	0.036	2
Coliformes totales	NMP/100mL	±0.44%	20	490	2200	270	5000
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	±0.42%	<1.8	68	20	40	NE
Pesticidas organoclorados							
4.4 DDT	mg Compuesto/L	0.00002	<0.000049	<0.000049	<0.000049	<0.000049	NE
4.4. DDD		0.00002	<0.000052	<0.000052	<0.000052	<0.000052	NE
4.4-DDE		0.00002	<0.000053	<0.000053	<0.000053	<0.000053	NE
Aldrin		0.00002	<0.000053	<0.000053	<0.000053	<0.000053	NE
ALPHA-BHC		0.00002	<0.000055	<0.000055	<0.000055	<0.000055	NE
b_BHC		0.00004	<0.000052	<0.000052	<0.000052	<0.000052	NE
cis- clordano		0.00004	<0.000052	<0.000052	<0.000052	<0.000052	NE
d_BHC		0.00002	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	NE
Dieldrin		0.00004	<0.000048	<0.000048	<0.000048	<0.000048	NE
Endosulfan I		0.00004	<0.000051	<0.000051	<0.000051	<0.000051	NE
Endosulfan II		0.00004	<0.000052	<0.000052	<0.000052	<0.000052	NE
Endosulfan sulfato		0.00004	<0.000049	<0.000049	<0.000049	<0.000049	NE
Endrin		0.00004	<0.000047	<0.000047	<0.000047	<0.000047	NE
Endrin aldehido		0.00004	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	NE
Endrin cetona		0.00004	<0.000053	<0.000053	<0.000053	<0.000053	NE
g-BHC (Lindano)		0.00002	<0.000049	<0.000049	<0.000049	<0.000049	NE
Heptacloro		0.00002	<0.000053	<0.000053	<0.000053	<0.000053	NE
Heptacloro epoxido (isomero B)		0.00002	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	NE
Metoxicloro		0.00002	<0.000053	<0.000053	<0.000053	<0.000053	NE
Pesticidas Organoclorados Totales		NE	<0.000047	<0.000047	<0.000047	<0.000047	NE
trans-clordano	0.00002	<0.000053	<0.000053	<0.000053	<0.000053	NE	
Pesticidas organofosforados							
Azinfos metil (guti3n)		0.00002	<0.000176	<0.000176	<0.000176	<0.000176	NE



Parámetro	Unidades	INC	P1 Ciénaga de Luruaco	P2 Ciénaga de Luruaco	P3 Ciénaga de Luruaco	P4 Ciénaga de Luruaco	Resolución 0000449 de 2021 de la CRA
			03/10/2022				
			Hora: 12:50	Hora: 12:30	Hora: 13:15	Hora: 15:10	
			ID 177678	ID 177679	ID 177680	ID 177681	
Bolstar (sulprofos)	mg Compuesto/L	0.00002	<0.000194	<0.000194	<0.000194	<0.000194	NE
Clorpirifos (Dursban)		0.00002	<0.000219	<0.000219	<0.000219	<0.000219	NE
Coumafos		0.00002	<0.000176	<0.000176	<0.000176	<0.000176	NE
Dementon O		0.00002	<0.000216	<0.000216	<0.000216	<0.000216	NE
Diazinon		0.00002	<0.000201	<0.000201	<0.000201	<0.000201	NE
Diclorvos (DDVP)		0.00001	<0.000211	<0.000211	<0.000211	<0.000211	NE
Disulfoton		0.00002	<0.000199	<0.000199	<0.000199	<0.000199	NE
Ethoprofos		0.00002	<0.000213	<0.000213	<0.000213	<0.000213	NE
Fenchlorfos		0.00002	<0.000189	<0.000189	<0.000189	<0.000189	NE
Fensulfothion		0.00002	<0.000225	<0.000225	<0.000225	<0.000225	NE
Fention		0.00002	<0.000198	<0.000198	<0.000198	<0.000198	NE
Merphos		0.00002	<0.000202	<0.000202	<0.000202	<0.000202	NE
Metil Paration		0.00002	<0.000176	<0.000176	<0.000176	<0.000176	NE
Mevinfos		0.00002	<0.000224	<0.000224	<0.000224	<0.000224	NE
Naled		0.00001	<0.000233	<0.000233	<0.000233	<0.000233	NE
Pesticidas Organofosforados Totales		NE	<0.000176	<0.000176	<0.000176	<0.000176	NE
Phorate		0.00001	<0.000215	<0.000215	<0.000215	<0.000215	NE
Stirofos		0.00002	<0.000224	<0.000224	<0.000224	<0.000224	NE
Tokution (prothiofos)		0.00002	<0.000186	<0.000186	<0.000186	<0.000186	NE
Tricloronato	0.00002	<0.000197	<0.000197	<0.000197	<0.000197	NE	

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.



Tabla 16. Resultados de laboratorio Vs Resolución 0000449 de 2021 de la CRA.

Parámetro	Unidades	INC	P5 Ciénaga de Luruaco	P6 Ciénaga de Luruaco	P7 Ciénaga de Luruaco	Resolución 0000449 de 2021 de la CRA
			03/10/2022			
			Hora: 12:50	Hora: 13:15	Hora: 15:10	
			ID 177682	ID 177683	ID 177684	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	0.1157	5.3	6.2	4.3	20
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	0.09	13	16	10	NE
Detergentes (SAAM)	mg SAAM/L	0.146	< 0.40	< 0.40	< 0.40	0.5
Dureza cálcica	mg CaCO ₃ /L	0.0058	70.0	89.2	72.6	NE
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	0.0058	128.7	128.7	112.0	NE
Fósforo total	mg P/L	0.0329	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.1
Grasas y aceites	mg/L	0.0154	< 10	< 10	< 10	NE
Hidrocarburos totales	mg HT/L	0.0232	< 10	< 10	< 10	NE
Nitratos Cl	mg N-NO ₃ -/L	0.0079	< 0.3	< 0.3	< 0.3	1
Nitritos	mg N-NO ₂ -/L	0.0378	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050	0.5
Nitrógeno amoniacal	mg N-NH ₃ /L	0.018	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0.3
Ortofosfatos-Cl	mg P-PO4-/L	0.0135	< 0.2	< 0.2	< 0.2	NE
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L	0.025	341	357	352	NE
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	0.0429	29.0	29.5	23.0	20
Sulfatos	mg SO ₄ =/L	0.025	72	78	82	400
Sulfuros	mg S ₂ -/L	0.1077	<0.85	<0.85	<0.85	NE
Clorofila a	mg/m ³ Clorofila a	NE	<0.200	<0.200	<0.200	NE
Pseudomona aeruginosa	NMP/100mL	NE	<1.8	<1.8	<1.8	NE
Arsénico total	mg/L	0.093	<0.003	<0.003	<0.003	0.05
Cadmio total	mg/L	0.101	<0.002	<0.002	<0.002	0.01
Cobre total	mg/L	0.073	<0.002	<0.002	<0.002	0.2
Cromo total	mg/L	0.079	<0.002	<0.002	<0.002	0.05
Mercurio total	mg/L	0.167	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.002
Plomo total	mg/L	0.089	<0.003	<0.003	<0.003	0.05
Zinc total	mg/L	0.110	0.005	0.019	0.004	2



Parámetro	Unidades	INC	P5 Ciénaga de Luruaco	P6 Ciénaga de Luruaco	P7 Ciénaga de Luruaco	Resolución 0000449 de 2021 de la CRA
			03/10/2022			
			Hora: 12:50	Hora: 13:15	Hora: 15:10	
			ID 177682	ID 177683	ID 177684	
Coliformes totales	NMP/100mL	±0.44%	78	940	110	5000
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	±0.42%	20	20	<1.8	NE
Pesticidas organoclorados						
4.4 DDT	mg Compuesto/L	0.00002	<0.000049	<0.000049	<0.000049	NE
4.4. DDD		0.00002	<0.000052	<0.000052	<0.000052	NE
4.4-DDE		0.00002	<0.000053	<0.000053	<0.000053	NE
Aldrin		0.00002	<0.000053	<0.000053	<0.000053	NE
ALPHA-BHC		0.00002	<0.000055	<0.000055	<0.000055	NE
b_BHC		0.00004	<0.000052	<0.000052	<0.000052	NE
cis- clordano		0.00004	<0.000052	<0.000052	<0.000052	NE
d_BHC		0.00002	<0.000050	<0.000050	<0.000050	NE
Dieldrin		0.00004	<0.000048	<0.000048	<0.000048	NE
Endosulfan I		0.00004	<0.000051	<0.000051	<0.000051	NE
Endosulfan II		0.00004	<0.000052	<0.000052	<0.000052	NE
Endosulfan sulfato		0.00004	<0.000049	<0.000049	<0.000049	NE
Endrin		0.00004	<0.000047	<0.000047	<0.000047	NE
Endrin aldehído		0.00004	<0.000050	<0.000050	<0.000050	NE
Endrin cetona		0.00004	<0.000053	<0.000053	<0.000053	NE
g-BHC (Lindano)		0.00002	<0.000049	<0.000049	<0.000049	NE
Heptacloro		0.00002	<0.000053	<0.000053	<0.000053	NE
Heptacloro epoxido (isomero B)		0.00002	<0.000050	<0.000050	<0.000050	NE
Metoxicloro		0.00002	<0.000053	<0.000053	<0.000053	NE
Pesticidas Organoclorados Totales		NE	<0.000047	<0.000047	<0.000047	NE
trans-clordano	0.00002	<0.000053	<0.000053	<0.000053	NE	
Pesticidas organofosforados						
Azinfos metil (guti6n)	mg Compuesto/L	0.00002	<0.000176	<0.000176	<0.000176	NE
Bolstar (sulprofos)		0.00002	<0.000194	<0.000194	<0.000194	NE
Clorpirifos (Dursban)		0.00002	<0.000219	<0.000219	<0.000219	NE
Coumafos		0.00002	<0.000176	<0.000176	<0.000176	NE



Parámetro	Unidades	INC	P5 Ciénaga de Luruaco	P6 Ciénaga de Luruaco	P7 Ciénaga de Luruaco	Resolución 0000449 de 2021 de la CRA
			03/10/2022			
			Hora: 12:50	Hora: 13:15	Hora: 15:10	
			ID 177682	ID 177683	ID 177684	
Dementon O		0.00002	<0.000216	<0.000216	<0.000216	NE
Diazinon		0.00002	<0.000201	<0.000201	<0.000201	NE
Diclorvos (DDVP)		0.00001	<0.000211	<0.000211	<0.000211	NE
Disulfoton		0.00002	<0.000199	<0.000199	<0.000199	NE
Ethoprofos		0.00002	<0.000213	<0.000213	<0.000213	NE
Fenchlorfos		0.00002	<0.000189	<0.000189	<0.000189	NE
Fensulfothion		0.00002	<0.000225	<0.000225	<0.000225	NE
Fention		0.00002	<0.000198	<0.000198	<0.000198	NE
Merphos		0.00002	<0.000202	<0.000202	<0.000202	NE
Metil Paration		0.00002	<0.000176	<0.000176	<0.000176	NE
Mevinfos		0.00002	<0.000224	<0.000224	<0.000224	NE
Naled		0.00001	<0.000233	<0.000233	<0.000233	NE
Pesticidas Organofosforados Totales		NE	<0.000176	<0.000176	<0.000176	NE
Phorate		0.00001	<0.000215	<0.000215	<0.000215	NE
Stirofos		0.00002	<0.000224	<0.000224	<0.000224	NE
Tokution (prothiofos)		0.00002	<0.000186	<0.000186	<0.000186	NE
Tricloronato		0.00002	<0.000197	<0.000197	<0.000197	NE

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.



6.3. Análisis de resultados

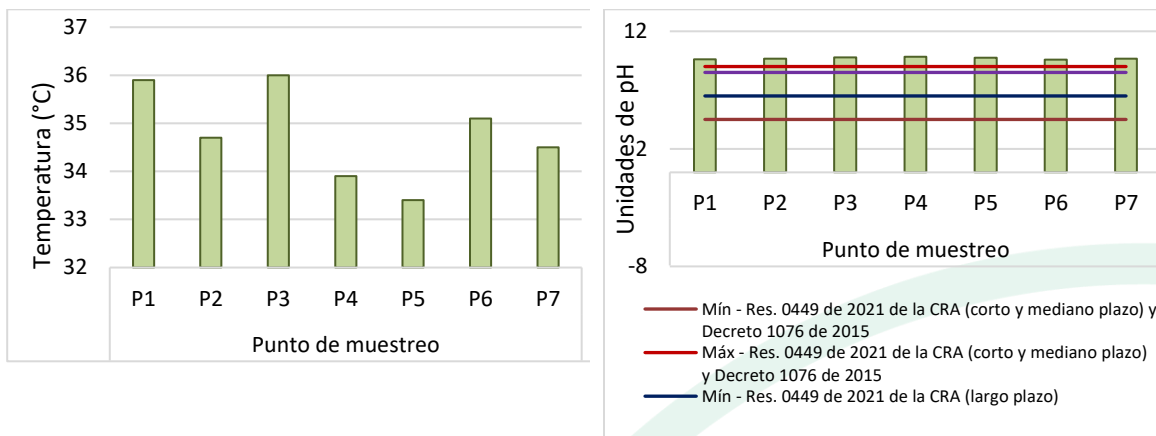
6.3.1. Variables fisicoquímicas.

Los ecosistemas lénticos del departamento del Atlántico se caracterizan por presentar temperaturas similares y estables en la mayor parte del año. La ciénaga de Luruaco no es la excepción, sus temperaturas son cálidas con promedios que rondan los 28 y 30°C (CRA, 2021, CRA, 2020 y CRA, 2019). Esta es una variable que en este cuerpo de agua se ve influida por factores externos como la radiación solar y las lluvias, y factores internos como la disminución de la columna de agua y la baja circulación de la masa de agua, entre otros, que inducen a que, en algunos periodos, se registren temperaturas como las que se obtuvieron en este monitoreo, entre 33.4 y 36°C. De otro lado, el pH registró valores alcalinos, muy similares entre puntos de muestreo, en un rango entre 9.60 UpH en P6 y 9.84 UpH en P4 (Gráfica 1). Estos valores no se encuentran dentro del ámbito recomendado en las diferentes normativas ambientales y locales como el Decreto 1076 de 2015 y Res. 0449 de 2021 de la CRA.

La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 6.5 a 8.0 UpH y es controlado principalmente por el sistema carbonato – bicarbonato (Stumm y Morgan 1996). Valores superiores o inferiores a producen limitaciones en el desarrollo y fisiología de los organismos acuáticos, en general y en la biota de los humedales en particular.

De acuerdo con Alabaster y Lloyd (1982) no se presentan efectos letales sobre peces de aguas dulces en pH de 5 a 9; sin embargo, sí se han reportado efectos crónicos a valores menores a 5, sobre todo con efectos dañinos sobre huevos y larvas (ANZECC, 2000).





Gráfica 1 Variación de la temperatura y el pH en la ciénaga de Luruaco en monitoreo realizado en 2022

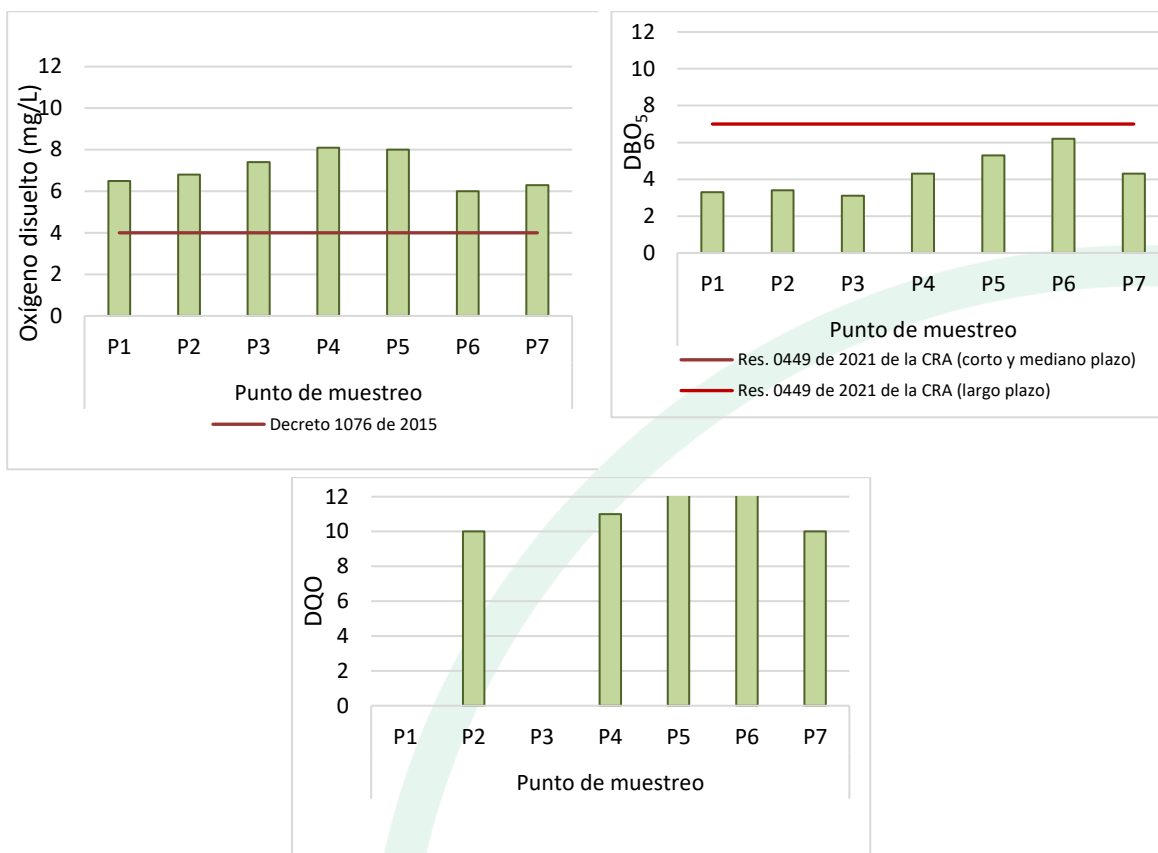
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

Los registros obtenidos de oxígeno disuelto muestran valores aptos para la sobrevivencia de especies acuáticas debido a que estuvieron entre 6 y 8.1 mg/L. Estos valores cumplen con el criterio de calidad para aguas cálidas dulces (4 mg/L) del Decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Igualmente, se presentaron concentraciones de DBO_5 que cumplen con el criterio de calidad a corto y mediano plazo (70 mg/L) y a largo plazo (10 mg/L), estipulados en la Resolución 0449 de 2021 de la CRA. Las concentraciones registradas fueron de 3.3 mg/L en P1, 3.4 en P2, 3.1 en P3, 4.3 en P4, 5.3 en P5, 6.2 en P6 y 4.3 mg/L en P7. En general, estos valores sugieren aguas superficiales con bajo contenido de material orgánico biodegradable con condiciones de buena calidad.

Así como la DBO_5 , la DQO mostró condiciones de buena calidad, representada por concentraciones bajas, que inclusive, estuvieron por debajo del límite de detección del método empleado en P1 y P3, con un mayor valor en P6 de 16 mg/L y uno más bajo en P2 y P7 de 10 mg/L (**Gráfica 2**).





Gráfica 2. Variación del oxígeno disuelto, DBO₅ y DQO en la ciénaga de Luruaco en monitoreo realizado en 2022.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

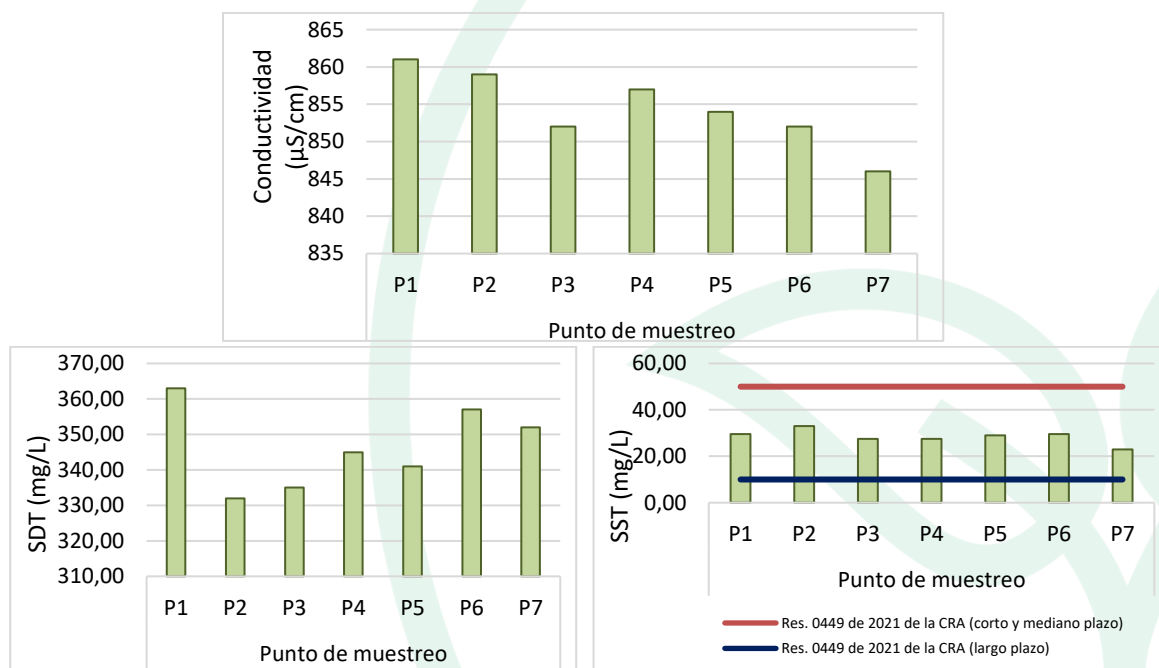
La conductividad registró concentraciones propias de aguas continentales dulces pero que podrían considerarse significativamente altas. Estas no suelen superar valores de alrededor de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Cirujano, 1995), no obstante, en este monitoreo se obtuvieron concentraciones en el rango entre 846 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en P7 y 861 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en P1. Otros estudios indican que, en promedio, los cuerpos de agua dulce poseen menos de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Roldan, 1992) y que en aguas continentales fuertemente mineralizadas se pueden presentar valores entre 500 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Roldán y Ramírez (2008).

Al igual que con la conductividad, los sólidos disueltos totales (SDT) presentaron pocas variaciones en las concentraciones entre puntos de muestreo, encontrándose la mas alta en P1 con 363 mg/L y la mas baja en P2 con 332 mg/L (**Gráfica 3** Variación de la conductividad, los sólidos disueltos totales (SDT) y los sólidos suspendidos totales (SST) en la ciénaga de Luruaco en monitoreo realizado en 2022.). El valor de la conductividad eléctrica es directamente proporcional a la concentración SDT, por lo tanto, cuanto mayor sea dicha concentración de sólidos disueltos en el agua, mayor será la



conductividad y viceversa (Zúñiga et al., 2016). Espinoza (2005), menciona que en general, las aguas que contienen menos de 500 mg/L de SDT, son aptas para usos domésticos e industriales, contrario a lo observado en este monitoreo.

Por otra parte, los sólidos suspendidos totales fueron registrados con valores entre 23 y 33 mg/L respectivamente en P7 y P2, cumpliendo con el objetivo de calidad a corto y mediano plazo estipulado en la Resolución 0449 de 2021 de la CRA (50 mg/L). al respecto, Ramírez y Viña (1998) establecen un valor límite de 150 mg/L de SST que al ser sobrepasado se consideraría un cuerpo de agua contaminado. Del mismo modo, comparándolos con escalas establecidas en otros países como la de CONAGUA- SEMARNAT (2014) se encuentran dentro de los señalados para aguas de buena calidad (>25 y ≤ 75 mg/L) y excelente calidad (≤ 25 mg/L).



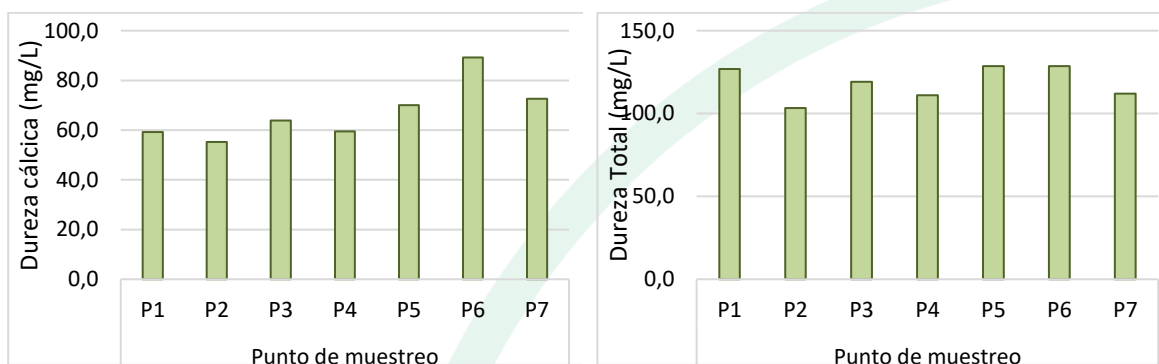
Gráfica 3 Variación de la conductividad, los sólidos disueltos totales (SDT) y los sólidos suspendidos totales (SST) en la ciénaga de Luruaco en monitoreo realizado en 2022.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

Los registros de dureza cálcica muestran una ciénaga dividida en dos sectores, uno de P1 a P3, con valores inferiores a 60 mg/L de CaCO_3 y otro de P4 a P7 con valores entre 61 y 120 mg CaCO_3 /L (Gráfica 4), siendo el primer grupo considerado como puntos con características de aguas blandas y el segundo de aguas medianamente duras, que según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en Rodríguez-Zamora (2009), no representan riesgo para la vida acuática.



De otro lado, la dureza total que es la concentración de todos los cationes divalentes presentes, donde el calcio y el magnesio son dominantes (Boyd y Tucker, 1998) y que además es requerida por los crustáceos para mineralización del exoesqueleto durante la muda, presentó valores que estuvieron entre 103.30 mg CaCO_3/L en P2 y 128.70 mg CaCO_3/L en P5 y P6, aceptables para la vida acuática, puesto que la mayoría de organismos toleran entre 50 y 200 mg CaCO_3/L (Wetzel, 2001).



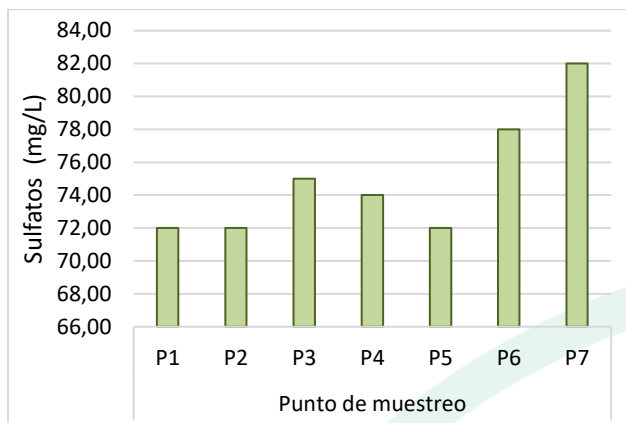
Gráfica 4 Variación de la dureza cálcica y la dureza total en la ciénaga de Luruaco en monitoreo realizado en 2022.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

Los sulfatos en el agua pueden tener su origen en el contacto de ella, con terrenos ricos en yesos, así como por la contaminación con aguas residuales industriales; el contenido de estos no suele presentar problemas de potabilidad en las aguas de consumo humano, pero contenidos superiores a 300 mg/L (**Gráfica 5**) pueden causar trastornos gastrointestinales en los niños (Orozco et al. 2005). El contenido de este en aguas naturales es muy variable, y puede ir desde muy pocos miligramos por litros, hasta cientos de miligramos por litros (Aguilera-Rodríguez et al. 2010).

En Colombia no existe legislación para esta variable en la destinación del recurso para la preservación de flora y fauna, sin embargo, las concentraciones que se obtuvieron (entre 72 y 82 mg/L) pueden considerarse aceptables si son comparados con los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico que indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional (400 mg/L) en el Decreto 1594 de 1984.





Gráfica 5 Variación de los sulfatos en la ciénaga de Luruaco en monitoreo realizado en 2022.

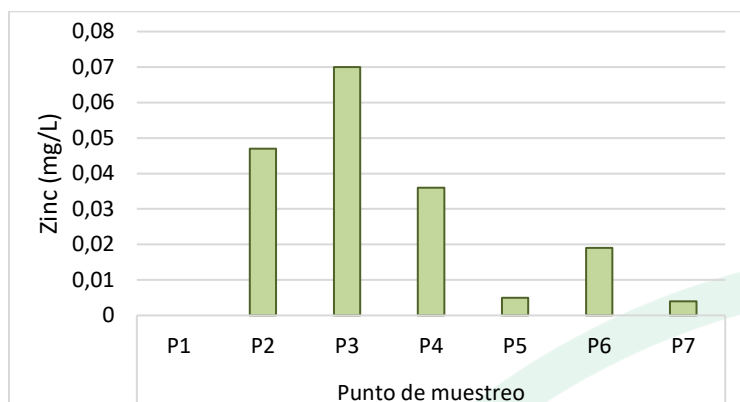
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

De los metales pesados analizados, el Cadmio, Cromo y Mercurio presentaron concentraciones por debajo del límite de detección de los métodos empleados para su análisis en todos los puntos de muestreo. Por su parte, el Arsénico y el Plomo solo registraron concentraciones detectables en P2 con 0.017 mg/L y 0.006 mg/L respectivamente, que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles en aguas para consumo humano, marinas y estuarinas, y para uso pecuario, según Codex (1995) y UE (2016).

De otro lado, el Zinc solo presentó concentraciones por debajo del límite de detección en P1 (<0,003 mg/L). El valor mas alto se obtuvo en P3 con 0.07 mg/L (**Gráfica 6**) y los mas bajos en P7 (0.004 mg/L) y en P5 (0.005 mg/L), siendo en la mayoría de los casos, valores bajos, si se tiene en cuenta que en uno de sus estudios, Eisler (1993), indicó que las concentraciones de este elemento en aguas frescas, suelen ser menores de 40 o 60 µg/L. En este sentido, en P7 se sobrepasa estos valores y su origen puede ser diverso, ocurriendo por contaminación natural del agua por el proceso de salinización que se da por contacto con sedimentos salinos o por incorporación de sustancias que forman los yacimientos metalíferos (Fiori, 2010).

Así mismo, aunque en la Res. 0449 de 2021 de la CRA, en la que se establecen los objetivos de calidad para los cuerpos de agua del departamento del Atlántico, no se dan concentraciones límite de esta variable, sino que se establecen concentraciones letales (CL50/96) en bioensayos, los valores obtenidos siguen siendo bajos si se compara con el valor restrictivo a corto y mediano plazo (2 CL50/96).





Gráfica 6. Variación del Zinc en la ciénaga de Luruaco en monitoreo realizado en 2022.

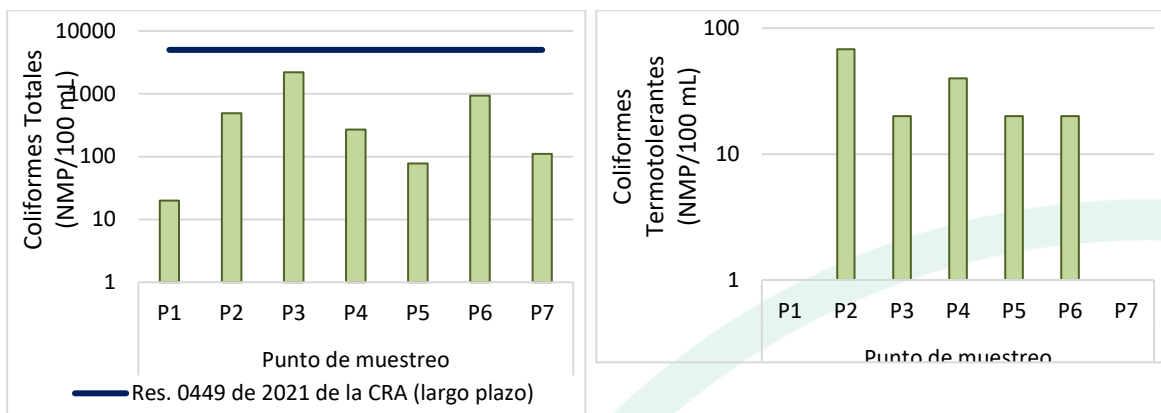
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

Finalmente, aunque los plaguicidas son elementos esenciales en la producción agropecuaria, piscícola y avícola, y que por cercanía de estas actividades a este cuerpo de agua podrían estar presentes, las concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección, es decir, al momento del monitoreo no representan peligros para la calidad del agua de la ciénaga. Tampoco fueron detectadas concentraciones de otras variables como clorofila a, nutrientes nitrogenados como nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal, ortofosfatos, fósforo total, grasas y aceites, hidrocarburos totales, detergentes (SAAM) y sulfuros.

6.3.2. Variables Microbiológicas.

En cuanto a la calidad microbiológica de la ciénaga, no se registraron concentraciones detectables de *Pseudomonas aeruginosa*. Por otra parte, los registros de coliformes totales (CT) muestran valores inferiores a 2200 NMP/100 mL, presentes en P3 (Gráfica 7), que comparados con monitoreos anteriores realizados por la CRA, representan valores muy bajos, puesto que, por ejemplo, en algunos puntos en el año 2020 fueron registradas concentraciones de 27395 y 12115 NMP/100 mL. Los valores obtenidos en este monitoreo se encuentran por debajo del límite máximo establecido por la CRA en la Res. 0449 de 2021 a largo plazo, que se debe cumplir a 10 años de expedida dicha resolución. Del mismo modo, los coliformes termotolerantes (CTE) presentaron concentraciones bajas con respecto a monitoreos anteriores, inclusive, en P1 y P7, por debajo del límite de detección del método empleado. Aunque estos registros suponen una calidad microbiológica aceptable, con respecto a monitoreos anteriores como los de los años 2019 y 2020 donde se obtuvieron concentraciones promedios de CTE de 18760.50 NMP/100 mL y 542.50 NMP/100 mL, la presencia de estas bacterias en el agua de la ciénaga son un indicio que puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición.





Gráfica 7 Variación de los coliformes totales y termotolerantes en la ciénaga de Luruaco en monitoreo realizado en 2022.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

6.3.3. Índice de calidad dde agua

6.3.3.1. Índice de calidad de gua (ICA)

El Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t .

La fórmula de cálculo del indicador es:

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt} \right)$$

Donde:

ICA_{njt} , es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t , evaluado con base en n variables.

W_i , es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i .

I_{ikjt} , es el valor calculado de la variable i .

n , es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador.

A continuación, se muestran las ecuaciones de referencia, para el cálculo del valor de cada variable.



6.3.3.1.1. Oxígeno disuelto (OD)

Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas.

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * PS_{OD})$$

Cuando el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor al 100%:

$$I_{OD} = 1 - (0.01 * PS_{OD} - 1)$$

6.3.3.1.2. Sólidos suspendidos totales

La presencia de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente. Dicha presencia puede estar relacionada con procesos erosivos, vertimientos industriales, extracción de materiales y disposición de escombros. Tiene una relación directa con la turbiedad.

El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula como sigue:

$$I_{SST} = 1 - (-0.02 + 0.003 \text{ Sólidos suspendidos (mg/L)})$$

$$\text{Si } SST \leq 4,5, \text{ entonces } I_{SST} = 1$$

$$\text{Si } SST \geq 320 \text{ entonces } I_{SST} = 0$$

6.3.3.1.3. Demanda química de oxígeno (DQO)

Refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no, y la materia inorgánica, Mediante adaptación de la propuesta de la Universidad Politécnica de Catalunya se calcula con la fórmula:

$$\text{Si } DQO \leq 20, \text{ entonces, } I_{DQO} = 0.91$$

$$\text{Si } 20 < DQO \leq 25, \text{ entonces, } I_{DQO} = 0.71$$

$$\text{Si } 25 < DQO \leq 40, \text{ entonces, } I_{DQO} = 0.51$$

$$\text{Si } 40 < DQO \leq 80, \text{ entonces, } I_{DQO} = 0.26$$

$$\text{Si } DQO > 80 \text{ entonces } I_{DQO} = 0.125$$



6.3.3.1.4. Conductividad eléctrica (C.E.)

Está íntimamente relacionada con la suma de cationes y aniones determinada en forma química, refleja la mineralización, Se calcula con la fórmula:

$$I_{C,E} = 1 - 10^{(-3,26+1,34 \log 10 C,E)}$$

Cuando $I_{C,E} < 0$, entonces $I_{C,E} = 0$

6.3.3.1.5. pH

Mide la acidez, valores extremos pueden afectar la flora y fauna acuáticas.

Si $pH < 4$, entonces $I_{pH} = 0.1$

Si $4 \leq pH \leq 7$, entonces $I_{pH} = 0.02628419 * e^{(pH*0.520025)}$

Si $7 < pH \leq 8$, entonces $I_{pH} = 1$

Si $8 < pH \leq 11$, entonces $I_{pH} = 1 * e^{[(pH-8)-0.5187742]}$

Si $pH \geq 11$, entonces $I_{pH} = 0.1$

Tabla 17. Variables y ponderaciones

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	0.2
Sólidos Suspendidos Totales, SST	mg/L	0.2
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	0.2
Conductividad Eléctrica, C, E	µS/cm	0.2
pH	Unidades de pH	0.2

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2011.

Tabla 18. Clasificación del ICA.

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0.00 – 0.25	Muy mala	Rojo
0.26 – 0.50	Mala	Naranja
0.51 – 0.70	Regular	Amarillo
0.71 – 0.90	Aceptable	Verde
0.91 – 1.00	Buena	Azul

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2011.



Tabla 19. Valor obtenido (índice) – ICA 5 Variables.

Puntos de muestreo	$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt} \right)$	Calificación de la calidad del agua
P1 Ciénaga de Luruaco	0.64	Regular
P2 Ciénaga de Luruaco	0.64	Regular
P3 Ciénaga de Luruaco	0.64	Regular
P4 Ciénaga de Luruaco	0.62	Regular
P5 Ciénaga de Luruaco	0.63	Regular
P6 Ciénaga de Luruaco	0.62	Regular
P7 Ciénaga de Luruaco	0.63	Regular

Nota: se realizó de manera indicativa en los puntos P1 y P3 debido a que el parámetro DQO presentó valores por debajo del límite de cuantificación.

Se procedió a realizar el cálculo del índice de calidad de agua (ICA) con el promedio de las muestras analizadas presentan una **calidad regular**.

6.3.3.2. Índices de contaminación de agua

6.3.3.2.1. Índice de Contaminación por Sólidos Suspendedos (ICOSUS)

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 \text{ Sólidos suspendidos (mg/L)}$$

Sólidos Suspendedos > a 340 mg/L tienen un ICOSUS = 1

Sólidos Suspendedos < a 10 mg/L tienen un ICOSUS = 0

6.3.3.2.2. Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)

Conformado por Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Coliformes Totales y porcentaje de saturación de Oxígeno. Se define entre un rango de 0 a 1 donde el aumento desde el valor más bajo se relaciona con el aumento de contaminación en el cuerpo del agua.

$$ICOMO = 1/3 (I_{DBO} + I_{Coliformes\ totales} + I_{Oxígeno\%})$$

Donde,

$$I_{DBO} = -0.05 + 0.70 \log_{10} DBO(mg/L)$$

$$DBO > 30(mg/L) = 1$$

$$DBO < 2 (mg/L) = 0$$

$$I_{Coliformes\ totales} = -1.44 + 0.56 \log_{10} Col.Tot. (NMP/100mL)$$

$$Coliformes\ Totales > 20.000(NMP/100mL) = 1$$

$$Coliformes\ Totales < 500(NMP/100mL) = 0$$



$$I_{\text{Oxígeno}\%} = 1 - 0.01 \text{ Oxígeno}\%$$

Oxígenos (%) mayores a 100% tienen un índice de oxígeno de 0

Para sistemas lénticos con eutrofización y porcentajes de saturación mayores al 100%, se sugiere reemplazar la ecuación por:

$$I_{\text{Oxígeno}\%} = 0.01 \text{ Oxígeno}\% - 1$$

6.3.3.2.3. Índice de Contaminación por pH (ICOpH)

$$ICOpH = \frac{e^{-31,08+3,45pH}}{1 + e^{-31,08+3,45pH}}$$

Al reemplazar el valor obtenido de pH en la fórmula presentada, se puede obtener el índice de contaminación por pH –ICOpH.

Tabla 20. Significancia de los índices de contaminación (ICOs)

Valor del ICO	Grado de Contaminación
0 – 0.2	Ninguna
>0.2 – 0.4	Bajo
>0.4 – 0.6	Medio
>0.6 – 0.8	Alto
>0.8 – 1	Muy alto

Fuente: Ramírez et al., (1997).

Tabla 21. Resultado final de la determinación de ICOSUS/ICOMO/ICOpH.

Fecha	Puntos de monitoreo	Índice de contaminación		
		ICOMO	ICOSUS	ICOpH
03/10/2022	P1 Ciénaga de Luruaco	0.132	0.040	0.892
	P2 Ciénaga de Luruaco	0.126	1.000	0.910
	P3 Ciénaga de Luruaco	0.242	1.000	0.933
	P4 Ciénaga de Luruaco	0.131	0.790	0.946
	P5 Ciénaga de Luruaco	0.152	0.214	0.930
	P6 Ciénaga de Luruaco	0.297	1.000	0.885
	P7 Ciénaga de Luruaco	0.172	0.310	0.904
INDICACIÓN		Baja contaminación (cercano a 0)		
		Alta contaminación (cercano a 1)		

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

Para el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) no se presentó ningún tipo de contaminación en los puntos P1, P2, P4, P5 y P5, mientras que los puntos P3 y P6 presentaron un grado de contaminación **medio**; por su parte, el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS), arroja que para el punto P1, no se presenta ningún tipo de contaminación, niveles de contaminación medio para los puntos P5 y P7, alto para el punto P4 y muy alto para los puntos P2,



P3 y P6. Finalmente, se obtiene que el índice de contaminación por pH arroja niveles muy altos de contaminación.

6.3.4. Variables Hidrobiológicas.

6.3.4.1. Fitoplancton.

El fitoplancton en la ciénaga de Luruaco estuvo representado por 14 morfoespecies distribuidas en cinco (5) divisiones, seis (6) clases, ocho (8) órdenes y 10 familias, cuya clasificación taxonómica se encuentra enlistada en la **Tabla 22**. La composición del fitoplancton en la ciénaga mostró que las Cianobacterias aportaron el mayor número de morfoespecies con el 42.86%, seguida de las Euglenozoa y Chlorophytas con el 21.43% de las morfoespecies cada uno, las Ochrophytas y Miozoa aportaron el 7.14% cada uno con una morfoespecie

Tabla 22. Clasificación taxonómica de las morfoespecies del fitoplancton observadas en la ciénaga de Luruaco.

Phylum o División	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Hydrodictyaceae	<i>Tetradron sp1</i>
			Scenedesmaceae	<i>Desmodesmus sp</i>
	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Oocystaceae	<i>Oocystis sp1</i>
Ochrophyta	Xanthophyceae	Mischococcales	Pleurochloridaceae	<i>Isthmochloron sp1</i>
Cyanophyta	Cyanophyceae	Synechococcales	Coelosphaeriaceae	<i>Coelosphaerium sp</i>
		Nostocales	Aphanizomenonaceae	<i>Cylindrospermopsis sp1</i>
				<i>Cylindrospermopsis sp2</i>
				<i>Raphidiopsis curvata</i>
				<i>Raphidiopsis sp2</i>
		Oscillatoriales	Microcoleaceae	<i>Arthrospira sp</i>
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena sp</i>
			Phacaceae	<i>Lepocinclis sp1</i>
				<i>Lepocinclis sp2</i>
Miozoa	Dinophyceae	Gymnodiniales	Gymnodiniaceae	<i>Gymnodinium sp</i>
5	6	8	10	14

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

Las morfoespecies más abundantes en la cienega fueron las pertenecientes a los generos *Cylindrospermopsis* y *Raphidiopsis* sp, siendo las mas abundantes en cada punto de muestreo, las mayores densidades se registraon en P1 con 330100.00 Ind/L (**Tabla 23**). con abundancia relativa del 52.82% **Tabla 23**). las morfoespecies del genero *Cylindrospermopsis* y la segunda morfoespecie con mayor abundancia fue para *Raphidiopsis* aportando una densidad de 239700 ind/L y una



abundancia relativa del 38.36% También se destaca la presencia de *Coelosphaerium* sp, con las mayores densidades en P3 y P6.

Tabla 23. Densidad (Ind/cm²) de las morfoespecies del fitoplancton en la ciénaga de Luruaco.

Morfoespecie	Densidad (Ind/L)						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
<i>Arthrospira</i> sp	5900.00	1200.00	4400.00	6800.00	3300.00	5600.00	4100.00
<i>Coelosphaerium</i> sp	37000.00	26700.00	47700.00	21000.00	17600.00	42300.00	27100.00
<i>Cylindrospermopsis</i> sp1	217200.00	187500.00	134200.00	152000.00	122400.00	177900.00	146200.00
<i>Cylindrospermopsis</i> sp2	112900.00	82700.00	126900.00	103500.00	91200.00	138000.00	130700.00
<i>Desmodesmus</i> sp	8400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7800.00
<i>Euglena</i> sp	1300.00	2100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Gymnodinium</i> sp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	500.00	2300.00
<i>Isthmochloron</i> sp1	2500.00	1400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1900.00
<i>Lepocinclis</i> sp1	0.00	2500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1100.00
<i>Lepocinclis</i> sp2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3300.00	2700.00
<i>Oocystis</i> sp1	0.00	0.00	0.00	0.00	1200.00	0.00	1200.00
<i>Raphidiopsis</i> curvata	106600.00	46400.00	61100.00	55800.00	70200.00	46700.00	80300.00
<i>Raphidiopsis</i> sp2	133100.00	141500.00	99300.00	86200.00	100100.00	143700.00	110900.00
<i>Tetraedron</i> sp1	0.00	0.00	0.00	0.00	700.00	0.00	500.00
Total	624900.00	492000.00	473600.00	425300.00	406700.00	558000.00	516800.00

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

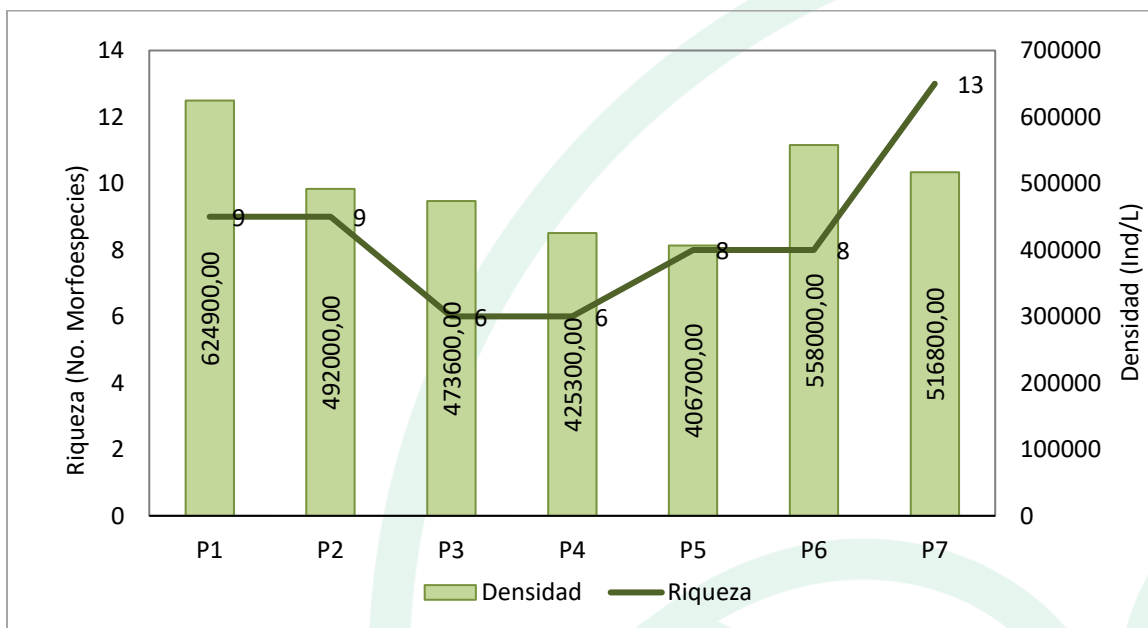
Tabla 24. Abundancia relativa (%) de las morfoespecies del fitoplancton en la ciénaga de Luruaco

Morfoespecie	Abundancia relativa (%)						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
<i>Arthrospira</i> sp	0.94	0.24	0.93	1.60	0.81	1.00	0.79
<i>Coelosphaerium</i> sp	5.92	5.43	10.07	4.94	4.33	7.58	5.24
<i>Cylindrospermopsis</i> sp1	34.76	38.11	28.34	35.74	30.10	31.88	28.29
<i>Cylindrospermopsis</i> sp2	18.07	16.81	26.79	24.34	22.42	24.73	25.29
<i>desmodesmus</i> sp	1.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.51
<i>Euglena</i> sp	0.21	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Gymnodinium</i> sp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.45
<i>Isthmochloron</i> sp1	0.40	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37
<i>Lepocinclis</i> sp1	0.00	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
<i>Lepocinclis</i> sp2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59	0.52
<i>Oocystis</i> sp1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.23
<i>Raphidiopsis</i> curvata	17.06	9.43	12.90	13.12	17.26	8.37	15.54
<i>Raphidiopsis</i> sp2	21.30	28.76	20.97	20.27	24.61	25.75	21.46
<i>Tetraedron</i> sp1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.10
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.



En la ciénaga de Luruaco la distribución de la riqueza y densidades en los puntos de muestreo fueron muy similares; caracterizados por tener baja riqueza y altas densidades, las riquezas oscilaron entre seis (6) morfoespecies en P3 y P4 a 13 morfoespecies en P7, las densidades fueron altas en todos los puntos de muestreo, cuyos valores variaron entre 406700 ind/l (P5) y 624900 ind/L (P1) (Gráfica 8) En general las condiciones ambientales y factores fisicoquímicas del agua mantienen las mismas características en los puntos de muestreo en la ciénaga de ahí esta tendencia.

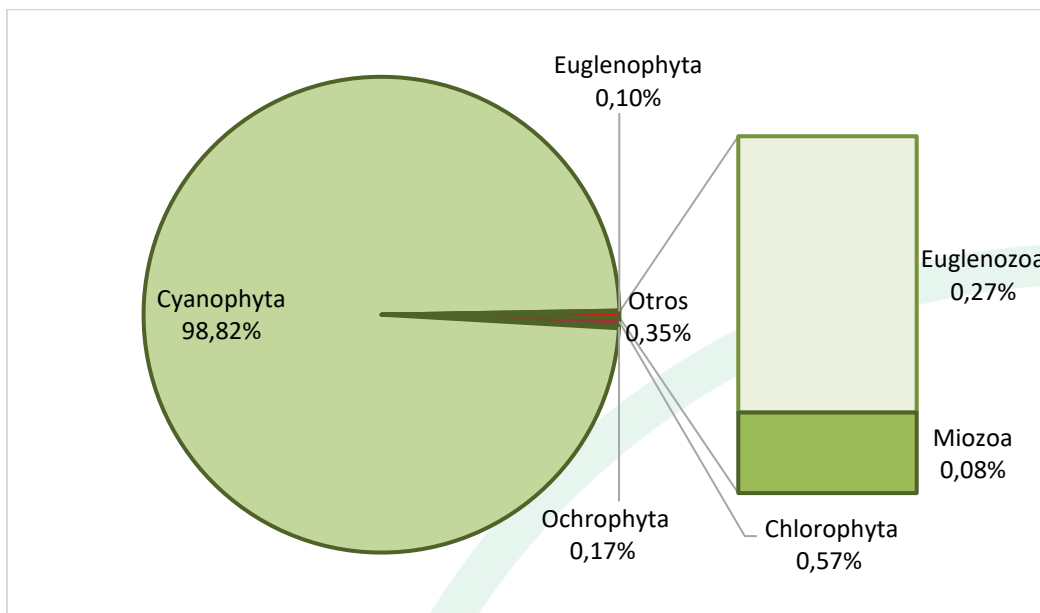


Gráfica 8. Densidad (Ind/L) y Riqueza (No. Morfoespecies) de la comunidad fitoplanctónica en la ciénaga de Luruaco.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

En cuanto al porcentaje de las densidades fitoplanctónicas en la ciénaga, las cianobacterias en la ciénaga de Luruaco agruparon la mayor densidad con el 98.82%, seguida de Chlorophyta con el 0.57%, Euglenozoa aportó el 0.27%, mientras que el restante de los phylum aportaron menos del 1% de la densidad total (**Gráfica 9**).



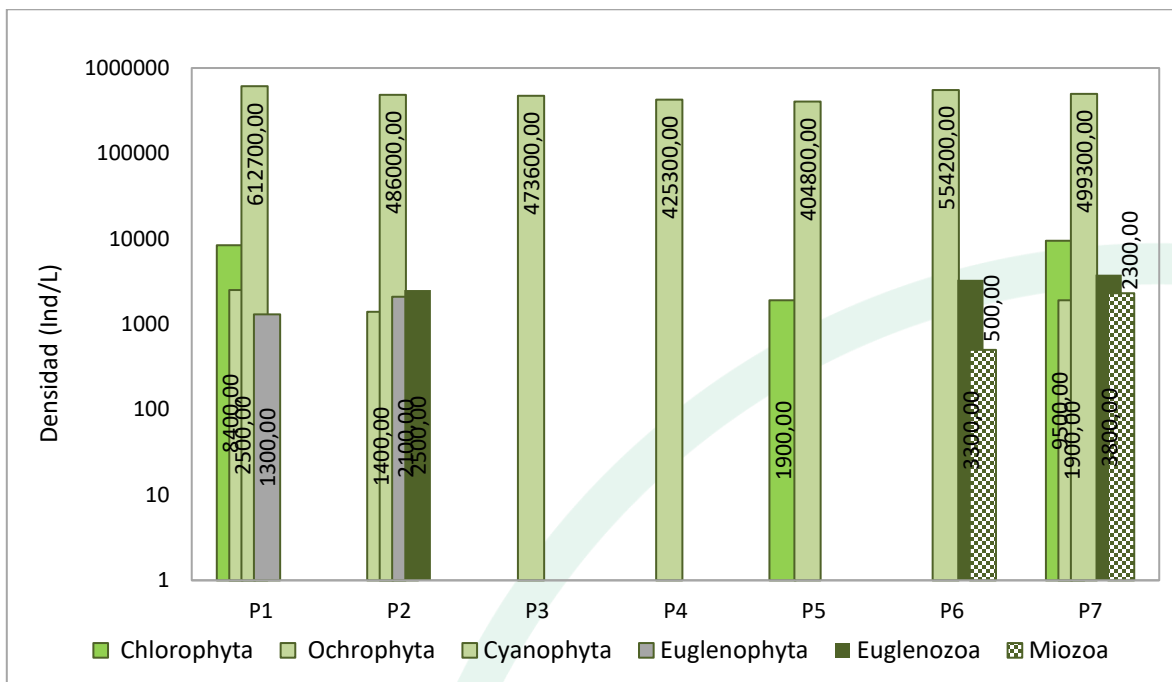


Gráfica 9. Contribución porcentual de las phyla del fitoplancton en la densidad total en la ciénaga de Luruaco.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

Las densidades de los diferentes phyla del fitoplancton en los puntos de muestreo de la ciénaga registraron valores muy similares en los puntos de muestreo. Para el caso de Cyanobacteria dominaron en todos los puntos de muestreo con la mayor participación en P1 con 612700.00 Ind/L y la menor densidad fue en P5 con 404800.00 Ind/L, (**Gráfica 10**), en cuanto a las Euglenophytas estuvieron presentes en P1, P2, P6 y P7, para las Miozoa fueron exclusivas en P6 y P7, las Chlorophytas y Ochrophytas estuvieron presentes cada una en tres puntos de muestreo





Gráfica 10 Contribución de las phyla del fitoplancton a la densidad total por punto de monitoreo en la ciénaga de Luruaco.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

los índices ecológicos para los puntos de muestreo, tuvieron una diversidad baja oscilando entre 1.48 (P2) y 1.68 (P7) valores relacionados con una baja riqueza de especies y altas densidades fitoplanctónicas, la equidad fue muy similar en los puntos de muestreo con valores que oscilaron entre J' : 0.65 (P9) y J' 0.87 (P3) el cual se vio reflejado en los valores de dominancia, siendo bajos en los puntos de muestreo, oscilando entre 0.21 (P9) y 0.26 (P2) (**Tabla 25**).

Tabla 25. Índices ecológicos aplicados a la comunidad del fitoplancton en la ciénaga de Luruaco.

Índices	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Taxa_S	9	9	6	6	8	8	13
Individuals	624900.00	492000.00	473600.00	425300.00	406700.00	558000.00	516800.00
Dominance_D	0.23	0.27	0.22	0.25	0.23	0.24	0.22
Shannon_H	1.61	1.48	1.57	1.56	1.54	1.54	1.68
Margalef	0.60	0.61	0.38	0.39	0.54	0.53	0.91
Equitability_J	0.73	0.68	0.88	0.85	0.74	0.74	0.66

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.



6.3.4.2. Zooplancton.

El zooplancton está conformado por organismos microscópicos que flotan libres en el agua entre los que se encuentran especies de varias filas taxonómicas: protozoarios, celenterados, rotíferos, briozoarios y sobre todo, por algunos grupos de crustáceos como los cladóceros, los copépodos y los ostrácodos (Lopez y bello 1993). El zooplancton de agua dulce está compuesto por animales con altas tasas de crecimiento, un rasgo que permite responder rápidamente a ambientes cambiantes (tapia, 2015). En estos organismos, la capacidad para producir la diapausa (estado dinámico de baja actividad metabólica) en los huevos les permite mantener su viabilidad durante décadas o siglos (Hairston, 1996).

El zooplancton constituye uno de los primeros eslabones en la cadena alimenticia acuática este participa activamente en la transferencia de energía y en los ciclos de nutrientes por lo cual estos organismos se consideran con un alto valor ecológico pues son fuente de alimentos de muchos animales que se encuentran en los diferentes sistemas y a su vez son los principales consumidores de algas y bacterias (Gallo-Sanchez 2009).

En la ciénaga de Luruaco, la comunidad de zooplancton estuvo representada por 17 morfoespecies, las cuales se encontraron distribuidas en tres (3) phylum, cinco (5) clases e igual número de ordenes con uno (1) no determinado y 11 familias con tres (3) no determinadas. La clasificación taxonómica se encuentra enlistada en la **Tabla 26**.

Tabla 26. Clasificación Taxonómica del zooplancton en la ciénaga de Luruaco

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Arthropoda	Maxillopoda	Cyclopoida	-	<i>Cyclopoida morfo 1</i>
			-	<i>Larva Nauplio Cyclopoida</i>
	Ostracoda	-	-	<i>Ostracoda morfo 1</i>
	Branchiopoda	Diplostraca	Moinidae	<i>Moina sp</i>
Protozoa	Lobosa	Arcellinida	Arcellidae	<i>Arcella discoides</i>
Rotifera	Monogonta	Flosculariaceae	Hexarthridae	<i>Hexarthra sp</i>
			Filiniidae	<i>Filinia sp</i>
			Testudinellidae	<i>Testudinella sp</i>
			Asplanchnidae	<i>Asplanchna sp</i>
		Ploima	Brachionidae	<i>Brachionus angularis</i>
				<i>Brachionus calyciflorus</i>
				<i>Brachionus havanaensis</i>
				<i>Keratella americana</i>
			Euchlanidae	<i>Euchlanis sp</i>
			Lecanidae	<i>Lecane bulla</i>
			Lepadellidae	<i>Colurella sp</i>



Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
			Synchaetidae	<i>Polyarthra sp</i>
3	5	5	11	17

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

La morfoespecie más abundante en esta ciénaga fue Larva Nauplio Cyclopoida con 1384.00Ind/L, seguido de *Brachionus havanaensis* con 1320.00Ind/L. Las morfoespecies menos densas fueron *Euchlanis sp* y *Colurella sp* con 12.00 y 4.00 Ind/L, respectivamente (**Tabla 27**).

Los copépodos Larva Nauplio de Cyclopoida habitan en agua dulce, son importantes en la estructuración de las comunidades zooplanctónicas con respecto a la dinámica de la población y sus aspectos tróficos, dado que, en las primeras fases, los organismos pueden ocupar nichos tróficos diferentes de las de los adultos según afirma Paggi y José de Paggi (1990). Los rotíferos del género *Brachionus* se consideran tolerantes a ciertas concentraciones de contaminantes, así como a diversos factores ecológicos (Sládecek, 1983).

Tabla 27. Densidad (Ind/L) y Abundancia relativa (%) de las morfoespecies de Zooplancton en la ciénaga de Luruaco

Morfoespecie	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Total
<i>Cyclopoida morfo 1</i>	136.00	160.00	188.00	124.00	144.00	204.00	124.00	1080.00
<i>Larva Nauplio Cyclopoida</i>	196.00	256.00	228.00	156.00	160.00	184.00	204.00	1384.00
<i>Ostracoda morfo 1</i>	68.00	64.00	92.00	60.00	40.00	0.00	8.00	332.00
<i>Moina sp</i>	12.00	4.00	0.00	0.00	0.00	12.00	4.00	32.00
<i>Arcella discoides</i>	12.00	0.00	0.00	8.00	4.00	32.00	4.00	60.00
<i>Hexarthra sp</i>	16.00	40.00	12.00	28.00	32.00	0.00	40.00	168.00
<i>Filinia sp</i>	76.00	20.00	72.00	40.00	32.00	100.00	36.00	376.00
<i>Testudinella sp</i>	8.00	24.00	12.00	0.00	4.00	0.00	16.00	64.00
<i>Asplanchna sp</i>	112.00	40.00	60.00	28.00	76.00	68.00	44.00	428.00
<i>Brachionus angularis</i>	204.00	148.00	240.00	196.00	148.00	224.00	84.00	1244.00
<i>Brachionus calyciflorus</i>	48.00	68.00	76.00	108.00	52.00	36.00	76.00	464.00
<i>Brachionus havanaensis</i>	240.00	232.00	156.00	256.00	212.00	84.00	140.00	1320.00
<i>Keratella americana</i>	48.00	28.00	72.00	16.00	36.00	60.00	24.00	284.00
<i>Euchlanis sp</i>	4.00	0.00	4.00	0.00	0.00	4.00	0.00	12.00
<i>Lecane bulla</i>	48.00	84.00	60.00	96.00	72.00	60.00	68.00	488.00
<i>Colurella sp</i>	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00
<i>Polyarthra sp</i>	4.00	12.00	48.00	24.00	36.00	40.00	16.00	180.00
Total	1232.00	1184.00	1320.00	1140.00	1048.00	1108.00	888.00	7920.00

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

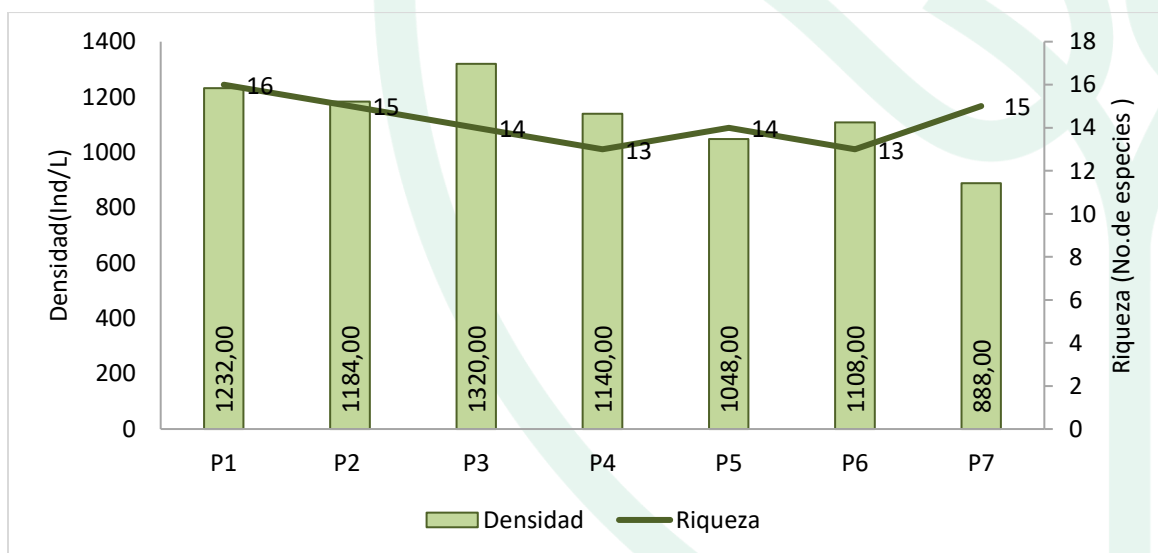


Tabla 28. Abundancia relativa (%) de las morfoespecies de Zooplancton en la ciénaga de Luruaco.

Morfoespecie	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
<i>Cyclopoida morfo 1</i>	11.04	13.51	14.24	10.88	13.74	18.41	13.96
<i>Larva Nauplio Cyclopoida</i>	15.91	21.62	17.27	13.68	15.27	16.61	22.97
<i>Ostracoda morfo 1</i>	5.52	5.41	6.97	5.26	3.82	0.00	0.90
<i>Moina sp</i>	0.97	0.34	0.00	0.00	0.00	1.08	0.45
<i>Arcella discoides</i>	0.97	0.00	0.00	0.70	0.38	2.89	0.45
<i>Hexarthra sp</i>	1.30	3.38	0.91	2.46	3.05	0.00	4.50
<i>Filinia sp</i>	6.17	1.69	5.45	3.51	3.05	9.03	4.05
<i>Testudinella sp</i>	0.65	2.03	0.91	0.00	0.38	0.00	1.80
<i>Asplanchna sp</i>	9.09	3.38	4.55	2.46	7.25	6.14	4.95
<i>Brachionus angularis</i>	16.56	12.50	18.18	17.19	14.12	20.22	9.46
<i>Brachionus calyciflorus</i>	3.90	5.74	5.76	9.47	4.96	3.25	8.56
<i>Brachionus havanaensis</i>	19.48	19.59	11.82	22.46	20.23	7.58	15.77
<i>Keratella americana</i>	3.90	2.36	5.45	1.40	3.44	5.42	2.70
<i>Euchlanis sp</i>	0.32	0.00	0.30	0.00	0.00	0.36	0.00
<i>Lecane bulla</i>	3.90	7.09	4.55	8.42	6.87	5.42	7.66
<i>Colurella sp</i>	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Polyarthra sp</i>	0.32	1.01	3.64	2.11	3.44	3.61	1.80
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

El área de monitoreo contó con un total de 7920.00Ind/L, siendo el P3 el de mayor densidad con 1320.00Ind/L y el P7 menos denso con 888.00Ind/L. En cuanto a la riqueza, para los puntos se presentaron 16 morfoespecies en el punto P1 (**Gráfica 11**).

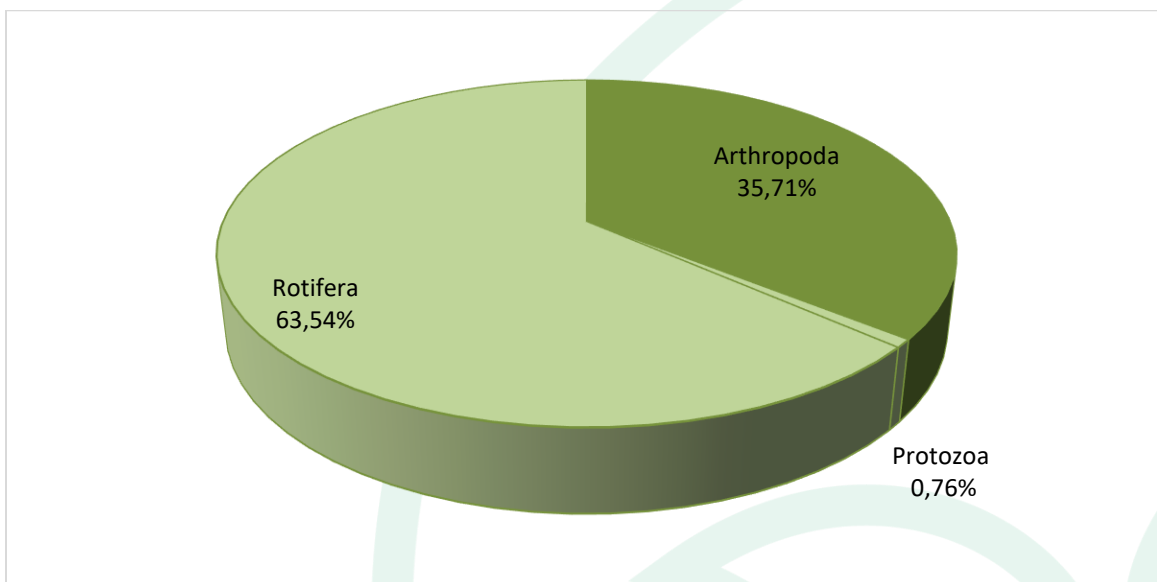

Gráfica 11. Densidad (Ind/L) y Riqueza (No. Morfoespecies) de la comunidad de zooplancton en la ciénaga de Luruaco.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.



En cuanto a la contribución porcentual Rotífera es el de mayor aporte con el 63.54% del total de las densidades, seguido de Arthropoda 35.71% y por último Protozoa con solo el 0.76% (**Gráfica 12**).

Matsumura-Tundisi *et al.* (2005) mencionan que el zooplancton posee una relación directa con el grado de eutrofización, así se suelen hallar registros mayores en ambientes acuáticos eutrofizados, que ofrecen mayor diversidad de recursos permitiendo a los organismos que allí habitan una mayor especialización sobre los nichos ecológicos, reduciéndose la competencia e incrementando la diversidad.

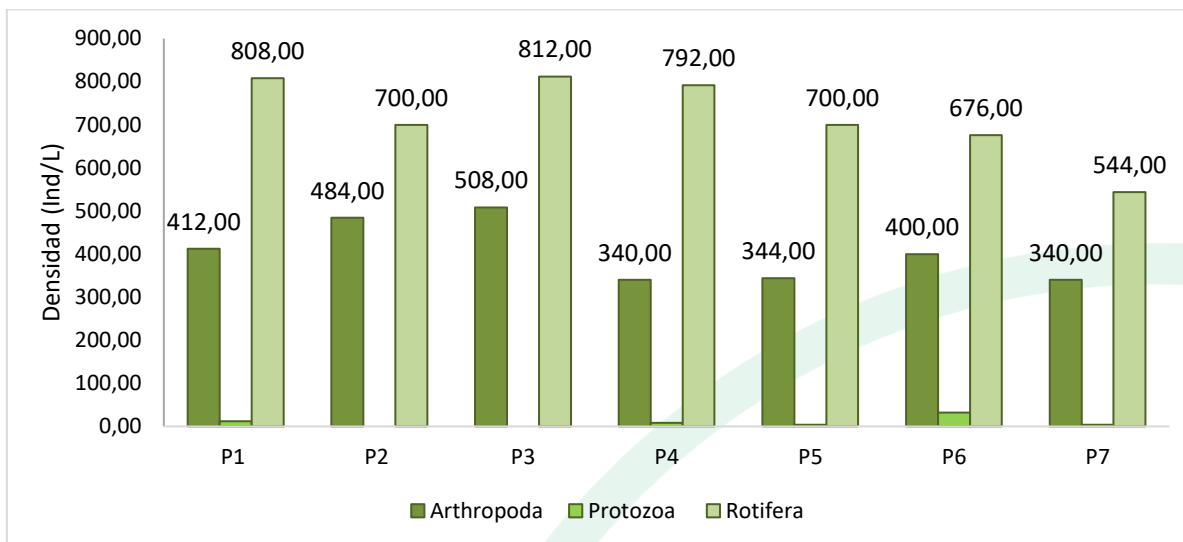


Gráfica 12 Contribución porcentual de la densidad total de los phylum zooplanctónicos en la ciénaga Luruaco

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

En los dos puntos de monitoreo se reportaron únicamente los phylum Arthropoda y Rotífera. Para todos los puntos Arthropoda fue el phylum con mayor densidad y general el menos representativo fue Protozoa, que se encontró en tres (3) de los siete (7) puntos (**Gráfica 13**).





Gráfica 13 . Contribución a la densidad total de los phyla en los puntos de monitoreo en la ciénaga Luruaco

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

El índice de Shannon reportó valores superiores a 2, indicando alta diversidad según lo señala Margalef (1983). Lo anterior es congruente con el planteamiento de Perkins (1983), quien especifica que todos los factores en los ambientes acuáticos tienen una paridad, salvo sus niveles de polución, por lo cual las localidades más contaminadas suelen ser las menos diversas. El índice de equidad obtuvo valores cercanos a 1, lo que indica una repartición equitativa de los recursos. La dominancia de Simpson (Dominance_D) fue moderada y congruente con los valores de equidad. Por su parte el índice de Margalef obtuvo registros indicadores de niveles de diversidad bajos (<2) (Tabla 29).

Tabla 29. Índices ecológicos aplicados a la comunidad de zooplancton en la ciénaga Luruaco.

Índice	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Taxa_S	16	15	14	13	14	13	15
Individuals	1232.00	1184.00	1320.00	1140.00	1048.00	1108.00	888.00
Dominance_D	0.12	0.13	0.12	0.13	0.12	0.13	0.13
Simpson_1-D	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87	0.87
Shannon_H	2.30	2.24	2.32	2.21	2.29	2.24	2.29
Margalef	2.11	1.98	1.81	1.71	1.87	1.71	2.06
Equitability_J	0.83	0.83	0.88	0.86	0.87	0.87	0.84

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.



6.3.4.3. Perifiton.

El fitoperifiton en la ciénaga de Luruaco estuvo representados por 18 morfoespecies distribuidas en cuatro (4) divisiones, cinco (5) clases, nueve (9) órdenes y 11 familias, cuya clasificación taxonómica se encuentra reportada en la **Tabla 30**. Siendo las diatomeas las más ricas a nivel de morfoespecies (13) con un 72.2% del total de morfoespecies, seguida por las clorofitas y cianobacterias con dos (2) morfoespecies cada con el 11.1% respectivamente y con una (1) morfoespecie las Euglenozoa con el 5.6%.

Tabla 30. Clasificación taxonómica de las morfoespecies del perifiton observadas en la ciénaga de Luruaco.

Phylum o División	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia sp1</i>
				<i>Nitzschia sp2</i>
		Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella sp1</i>
				<i>Cymbella sp2</i>
			Gomphonemataceae	<i>Gomphonema sp1</i>
				<i>Gomphonema sp2</i>
		Eunotiales	Eunotiaceae	<i>Eunotia sp1</i>
		Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Synedra sp1</i>
				<i>Synedra sp2</i>
		Naviculales	Naviculaceae	<i>Gyrosigma sp</i>
Chlorophyta	Chlorophyceae	Oedogoniales	Oedogoniaceae	<i>Oedogonium sp</i>
	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Chlorellaceae	<i>Actinastrum sp</i>
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya sp</i>
				<i>Oscillatoria sp1</i>
Euglenozoa	Euglenophyceae	Euglenida	Euglenidae	<i>Euglena sp</i>
4	5	9	11	18

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

Las diatomeas (Bacillariophytas) aportaron las mayores densidades en los puntos de muestreo con una mayoritaria participación de las morfoespecies *Nitzschia sp1* y *Navicula sp1*, en P5 se registró la mayor densidad con la morfoespecie *Nitzschia sp* con 1712.00 Ind/cm² y abundancia relativa del 64.26% , seguida de la morfoespecie *Navicula sp1* con 696 Ind/cm² y abundancia relativa del 26.13%, esa misma tendencia se registró en todos los puntos de muestreo, las morfoespecies *Synedra sp1* tuvo un importante aporte en P1 y P2, *Oscillatoria sp1* (Cianobacteria) fue abundante en P6 (**Tabla 31**).



Según Bellinger & Sigee (2010) *Navicula* es un género que puede habitar variabilidad de sistemas acuáticos, sin embargo, se considera tolerante aquellos con moderado a alto contenido de nutrientes.

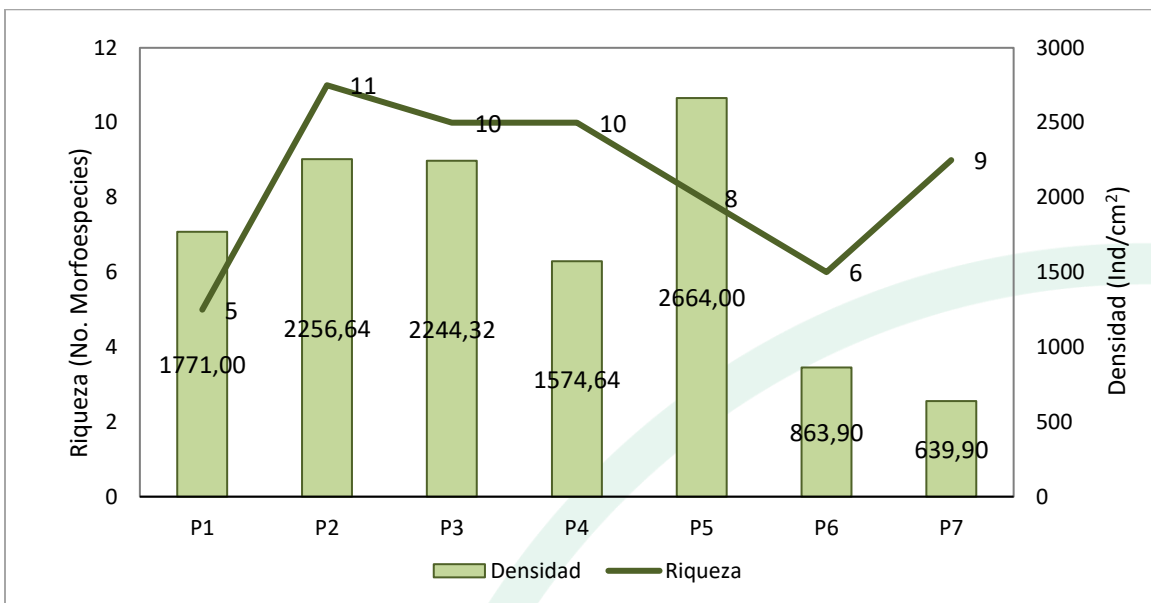
Tabla 31. Densidad (Ind/cm²) de las morfoespecies del perifiton en la ciénaga de Luruaco.

Morfoespecie	Densidad (Ind/cm ²)						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
<i>Actinastrum sp</i>	0.00	19.68	0.00	12.96	0.00	0.00	0.00
<i>Cymbella sp1</i>	0.00	0.00	0.00	51.84	16.00	0.00	16.20
<i>Cymbella sp2</i>	0.00	39.36	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00
<i>Euglena sp</i>	0.00	78.72	13.28	0.00	0.00	24.45	8.10
<i>Eunotia sp1</i>	0.00	0.00	19.92	6.48	0.00	0.00	8.10
<i>Gomphonema sp1</i>	0.00	78.72	26.56	116.64	104.00	0.00	48.60
<i>Gomphonema sp2</i>	0.00	19.68	0.00	32.40	0.00	0.00	0.00
<i>Gyrosigma sp</i>	0.00	0.00	33.20	12.96	0.00	0.00	16.20
<i>Lyngbya sp</i>	32.20	0.00	0.00	19.44	0.00	0.00	0.00
<i>Navicula sp1</i>	499.10	1095.52	843.28	479.52	696.00	252.65	153.90
<i>Navicula sp2</i>	0.00	59.04	33.20	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Nitzschia sp1</i>	941.85	596.96	1115.52	797.04	1712.00	431.95	307.80
<i>Nitzschia sp2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	64.00	0.00	48.60
<i>Oedogonium sp</i>	128.80	0.00	79.68	0.00	56.00	0.00	0.00
<i>Oscillatoria sp1</i>	0.00	0.00	26.56	45.36	0.00	97.80	0.00
<i>Pinnularia sp1</i>	0.00	26.24	0.00	0.00	8.00	0.00	32.40
<i>Synedra sp1</i>	169.05	229.60	53.12	0.00	0.00	40.75	0.00
<i>Synedra sp2</i>	0.00	13.12	0.00	0.00	0.00	16.30	0.00
Total	1771	2256.64	2244.32	1574.64	2664	863.9	639.9

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

El perifiton de la ciénaga, a nivel espacial (**Gráfica 14**) se destacó por presentar un comportamiento similar entre la riqueza el cual no muestra diferencias marcadas entre los puntos de muestreo, esta osciló entre cinco (5) morfoespecies P1 y 11 morfoespecies (P2), la densidad tuvo variaciones en los puntos de muestreo oscilando entre 639.90 Ind/cm² (P7) y 2664 Ind/cm² en P5 con valores intermedios en P4 con 1574.64 Ind/cm². Estas diferencias pueden asociarse a las características del sustrato y a la dinámica física del entorno (Stevenson et al., 1996) especialmente la disponibilidad de la luz, de nutrientes y la herbivoría.

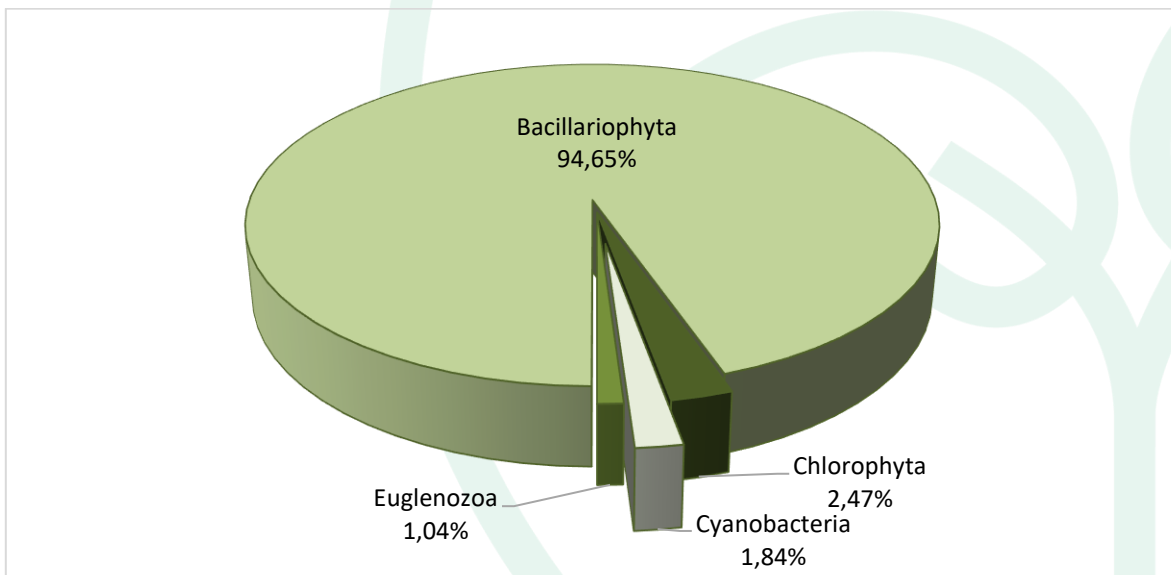




Gráfica 14 Densidad (Ind/cm²) y Riqueza (No. Morfoespecies) de la comunidad perifítica.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

En la ciénaga el phyla con mayor porcentaje de densidad fueron las Bacillariophyta con el 94.65% de la abundancia total, seguida de las Chlorophyta con el 2.47%, las Cyanobacterias aportaron el 1.84% y las Euglenozoa con el 1.04% (**Gráfica 15**).



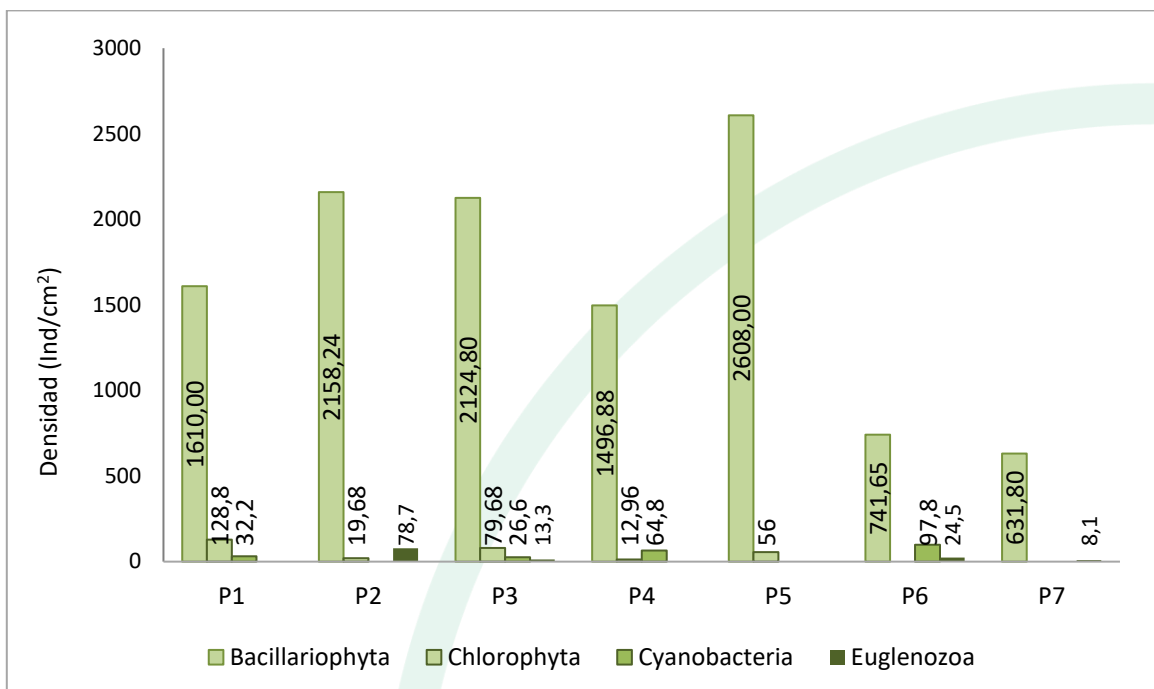
Gráfica 15. Contribución porcentual de las phyla del perifiton a la densidad total en la ciénaga de Luruaco.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

En la cienega de Luruaco las Bacillariophyta (diatomeas) fueron las mas abundantes en todos los puntos de muestreo, la mayor densidad se registró en P5 con 2608.00 Ind/cm² y P7 aportó la menor densidad con 631.8 Ind/cm² en P4 la densidad fue intermedia con 1496.88 Ind/cm² (**Gráfica 16**).



En cuanto a las Chlorophytas presentaron la mayor densidad en P1 con 128.8 Ind/cm², las Cyanobacterias fueron abundantes en P6 con 97.8 Ind/cm² y las Euglenozoa en P2 aportaron la mayor densidad con 78.7 Ind/cm².



Gráfica 16. Contribución de las phyla del perifiton a la densidad total por punto de monitoreo en la ciénaga de Luruaco.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

En la **Tabla 32** se consignan los valores de los índices ecológicos que describen la comunidad fitoplanctónica. La cienega se caracteriza por presentar baja diversidad de Shannon & Weaver en los puntos de muestreo cuyos valores oscilaron entre H: 0.99 (P5) y H: 1.53 (P7). En general los puntos de muestreo se caracterizaron por tener bajas riquezas, de ahí los mejores valores de diversidad, con valores medios y medios altos de equidad y baja dominancia. Es de mencionar las taxa reportadas pertenecen a géneros que pueden prevalecer en ambientes con alto contenido de nutrientes y materia orgánica.

Tabla 32. Índices ecológicos aplicados a la comunidad de perifiton en la ciénaga de Luruaco.

Indíces	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Taxa_S	5	11	10	10	8	6	9
Individuals	1769.00	2251.00	2240.00	1569.00	2664.00	860.00	636.00
Dominance_D	0.38	0.32	0.39	0.36	0.48	0.35	0.30
Simpson_1-D	0.62	0.68	0.61	0.64	0.52	0.65	0.70
Shannon_H	1.18	1.50	1.22	1.35	1.00	1.27	1.53
Margalef	0.53	1.30	1.17	1.22	0.89	0.74	1.24
Equitability_J	0.73	0.63	0.53	0.59	0.48	0.71	0.70

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.



6.3.4.4. Macrófitas.

En la Ciénaga de Luruaco no se reportaron morfoespecies de macrófitas asociados a los puntos de muestreo durante el período de monitoreo.

La distribución de las macrófitas depende de varios factores, principalmente la velocidad del agua, sus características fisicoquímicas y las del sedimento, o la sombra de la vegetación ribereña (Arocena y Mazzeo, 1994). Arocena et al. (1992) indican que el material en suspensión, oxígeno disuelto, pH, alcalinidad, fósforo total (Pt) y nitrógeno total inorgánico, variables relacionadas con la contaminación orgánica, tienen gran influencia sobre la distribución de macrófitas.

6.3.4.5. Macroinvertebrados bentónicos.

Los macroinvertebrados bentónicos comprenden aquellos organismos asociados al fondo de los ríos, lagos y ciénagas que por lo general son visibles al ojo humano ya que su tamaño es mayor a 0.3 mm de longitud. Son mayormente sedentarios y cumplen parte de su ciclo vital en el medio acuático (Termeus, *et al.*, 2012)., pertenecen a un grupo taxonómicamente muy diverso en el que se incluyen clases como la Insecta, Crustácea, Oligochaeta, Malacostraca, Turbellaria, Artrópodos, Arachnoidea y Mollusca, principalmente de insectos en su fase larvaria. Los macroinvertebrados juegan un papel importante en todos los procesos ecológicos de los sistemas acuáticos, son un enlace importante para la transferencia de energía a diversos niveles tróficos de las cadenas alimentarias acuáticas, aceleran los procesos de descomposición de detritos y contribuyen al reciclaje de nutrientes (Hanson, *et al.*, 2010); además, consumen gran cantidad de algas y otros microorganismos asociados con el perifiton en los ríos o con el plancton en los lagos y, muchas veces, este consumo aumenta la productividad primaria, ya que se elimina el tejido poco productivo y se mineralizan los nutrientes (Allan y Castillo, 2007).

Los macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga de Luruaco estuvieron representados por tres (3) morfoespecies distribuidas en un (1) phylum, una (1) clase, dos (2) órdenes y dos (2) familias, cuya clasificación taxonómica se encuentra enlistada en la **Tabla 33**.

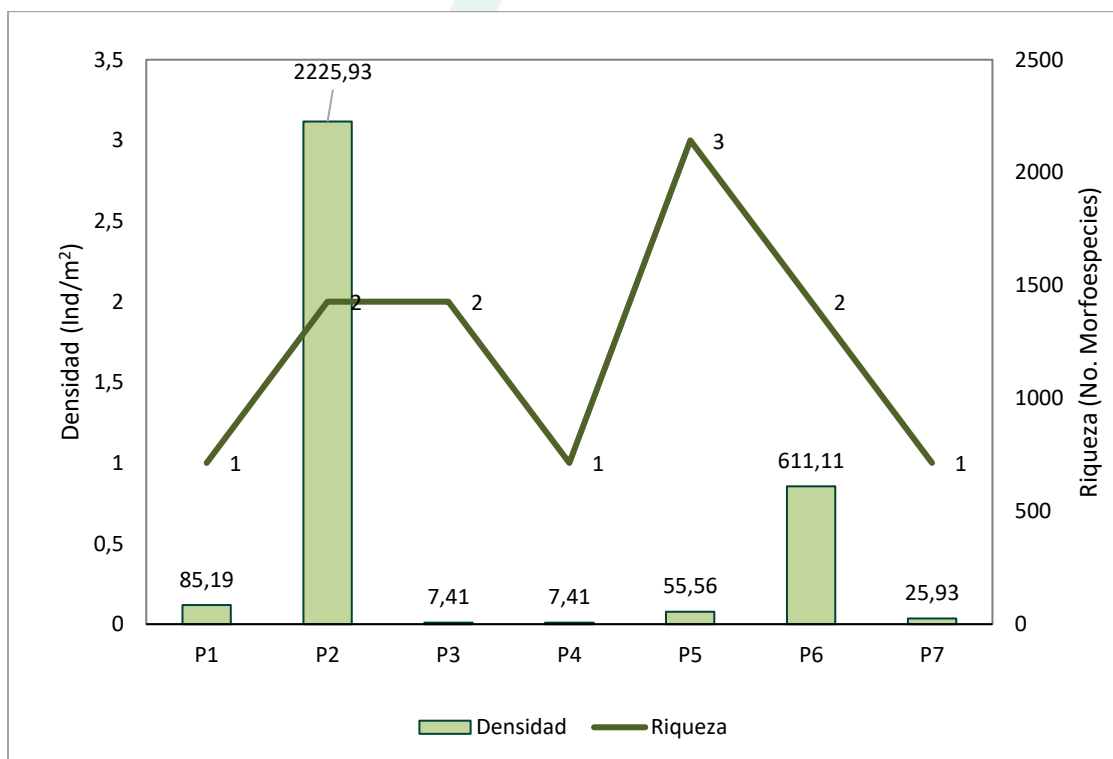


Tabla 33. Clasificación taxonómica de los macroinvertebrados bentónicos observados en la ciénaga de Luruaco.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Mollusca	Gastropoda	Architaenioglossa	Ampullaridae	<i>Marisa cornuarietis</i>
		Neotaenioglossa	Thiaridae	<i>Pomacea sp</i>
				<i>Melanooides tuberculatus</i>
1	1	2	2	3

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

La densidad de macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga de Luruaco fue relativamente alta y su valor máximo estuvo asociado con el punto de monitoreo P2, el cual registró 2225.93 Ind/m². La riqueza registró un rango de variación de 1-3 morfoespecies y su valor más alto se observó en P5 (**Gráfica 17**). Las diferencias observadas entre las densidades de los puntos monitoreados se encuentran explicada por el aporte diferencial de la morfoespecie *M. tuberculatus*, los cuales fueron muy superiores en P2.



Gráfica 17. Densidad (Ind/m²) y Riqueza (No. Morfoespecies) de la comunidad de Macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga de Luruaco.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

La morfoespecie más abundante fue *Melanooides tuberculatus* con 2996.30 Ind/m² en la ciénaga, siendo P2 el punto donde presentó su densidad máxima, con 2222.22 Ind/m² (**Tabla 34**). *M. tuberculatus* muestra una gran adaptabilidad a diferentes condiciones ecológicas, pero su establecimiento exitoso se asocia frecuentemente con ambientes eutróficos según lo señalan



Martins-Silva y Barros (2001) y se le ha registrado incluso en cuerpos de agua contaminados por grandes cantidades de excrementos humanos y animales, así como en aguas residuales domésticas (Ndifon y Ukoli, 1989).

El género *Melanoides* presenta una amplia distribución ya que se puede encontrar en diferentes tipos de hábitat desde ríos, quebradas, arroyos, caños, canales y otros sistemas lénticos naturales y artificiales, incluidos los embalses. Se ha descrito que la dispersión de especies de este género como *M. tuberculatus* se da por transporte sobre aves acuáticas y arrastre en ríos. además, al ser individuos partenogenéticos un solo individuo puede colonizar y formar una nueva población, por lo cual se les considera de gran importancia ecológica dada la afectación al establecimiento de otras poblaciones de macroinvertebrados (Albarran- Melze *et al.*, 2009). Es un habitante común de aguas contaminadas con desechos de origen orgánico y eutrofizadas, resiste altos niveles de contaminación por lo que resulta en un buen indicador de condiciones de anoxia y algo de salinidad (Lasso, 2011). Esta especie es altamente móvil, consume desechos generados por los humanos y se adapta a diferentes entornos (CABI, 2018).

Tabla 34. Densidad (Ind/m²) de las morfoespecies de Macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga de Luruaco.

Morfoespecie	Densidad (Ind/m ²)							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Total
<i>Marisa cornuarietis</i>	0.00	3.70	3.70	0.00	7.41	3.70	0.00	18.52
<i>Melanoides tuberculatus</i>	85.19	2222.22	3.70	7.41	44.44	607.41	25.93	2996.30
<i>Pomacea sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	0.00	0.00	3.70
Total	85.19	2225.93	7.41	7.41	55.56	611.11	25.93	3018.52

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

Tabla 35. Abundancia relativa (%) de las morfoespecies de Macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga de Luruaco.

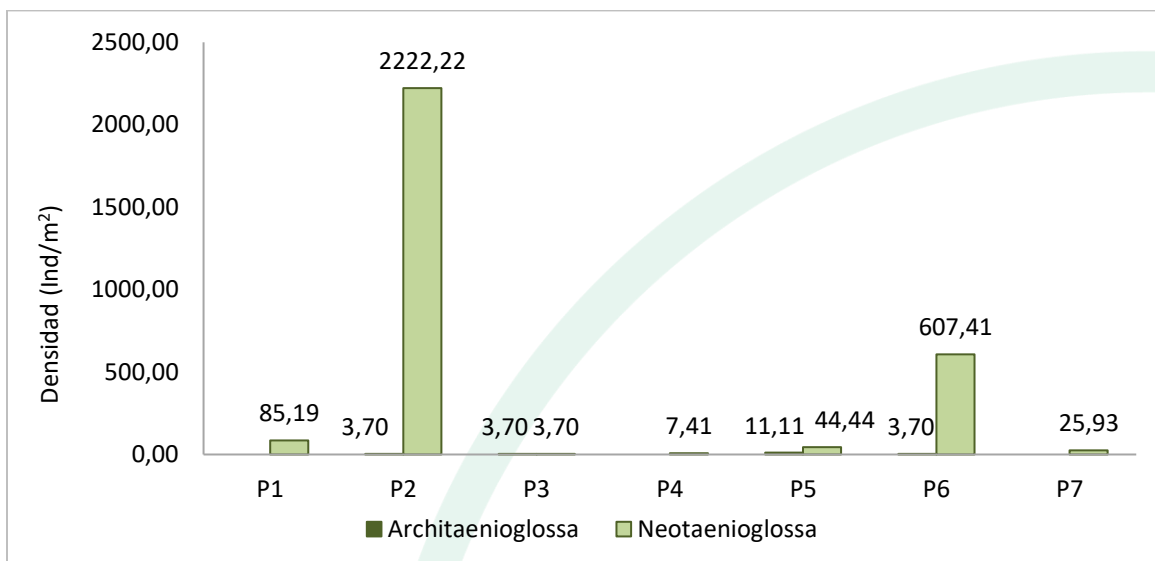
Morfoespecie	Abundancia relativa (%)						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
<i>Marisa cornuarietis</i>	0.00	0.17	50.00	0.00	13.33	0.61	0.00
<i>Melanoides tuberculatus</i>	100.00	99.83	50.00	100.00	80.00	99.39	100.00
<i>Pomacea sp</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	6.67	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

A nivel espacial, las densidades estuvieron dominadas por la clase Neotaenioglossa, la cual estuvo mejor representada en P2, donde registró 2222.22 Ind/m²; en cuanto a Architaenioglossa, su máximo estuvo relacionado con P5 con 11.11 Ind/m²(Gráfica 18). Esta variación espacial de la



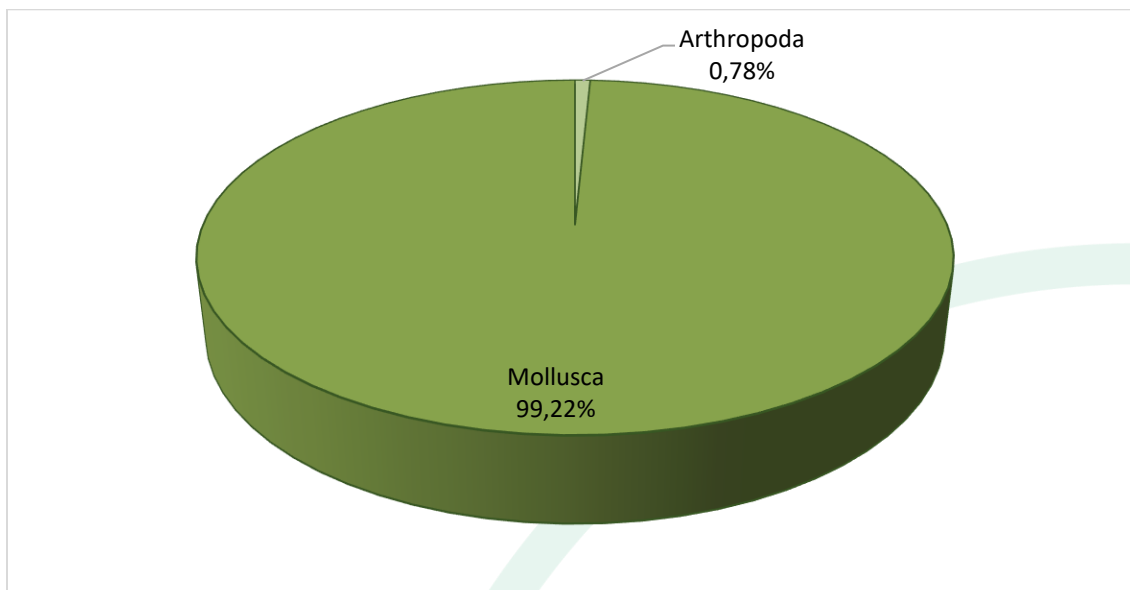
composición de macroinvertebrados se relaciona con los mecanismos de competencia de cada una de las morfoespecies, ya que *M. tuberculatus* tiene una alta capacidad de agregación y tiende a desplazar otras especies de Molusca.



Gráfica 18. Contribución de las familias de Macroinvertebrados bentónicos a la densidad total por punto de monitoreo en la ciénaga de Luruaco.

Todas las morfoespecies observadas estuvieron vinculadas al phylum Mollusca, del cual la clase Neotaenioglossa fue la más representativa, ya que contó con el 99.21% del valor de la densidad total, seguida de Architaenioglossa (0.74%) (**Gráfica 19**). Esta particular dominancia de Mollusca en la ciénaga se debe a que son ambientes cuya tendencia a la colmatación es bastante común y como consecuencia de ello existe una mayor cantidad de materia orgánica tanto en la columna agua como en el sedimento, que sirve de ítem alimenticio para los moluscos, al ser estos en su mayoría de hábitos detritívoros.





Gráfica 19. Contribución porcentual de las familias de Macroinvertebrados bentónicos a la densidad total en la ciénaga de Luruaco.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

La distribución de los phyllum en el área de estudio muestra que Mollusca se encontró presente en todos los puntos de monitoreo. Esta dominancia de Mollusca se encuentra dada por el grado de sensibilidad ambiental de sus taxones que tiende a ser bastante amplio, particularmente, esta división estuvo representada por gasterópodos los cuales son un componente muy importante de las comunidades en ecosistemas acuáticos como el del embalse del Guájaro ya que juegan un rol vital en el procesamiento de la materia orgánica y detritos.

Estos moluscos se alimentan generalmente de vegetales, detritos o del perifiton que cubre sustratos duros en los ríos, lagos y lagunas. Pueden incluso flotar en la superficie del agua sin romper la tensión superficial, alimentándose de algas flotantes. Existen ciertos factores ecológicos importantes, determinantes de la presencia o ausencia de gasterópodos en los distintos ambientes. Uno de los factores más limitantes es la cantidad de sales disueltas en el agua, especialmente de carbonato de calcio, que es el material más importante en la construcción de las conchillas de los gasterópodos (Domínguez 2009), dichas condiciones pueden presentarse en el embalse dada la cantidad de poblaciones aledañas a este y que vierten muchas de las aguas servidas en este.

Dado que la riqueza (Taxa_S) en los puntos de monitoreo de la ciénaga de Luruaco fue inferior a cinco (5) no le fueron calculados los índices ecológicos debido a que este número es poco



representativo en la estimación de dichos índices, de tal manera que su cálculo resultaría en una sub o sobreestimación de los atributos ecológicos que relacionan los mismos.

6.3.4.6. Ictiofauna.

La comunidad íctica en la ciénaga de Luruaco estuvo conformada por tres (3) especies, las cuales pertenecen al phylum Chordata y la clase Actinopteri. Además, pertenecen taxonómicamente a tres (3) órdenes y el mismo número de familias. La clasificación taxonómica se encuentra en detalle en la **Tabla 36**.

Tabla 36. Clasificación taxonómica de la comunidad de peces reportada en la ciénaga de Luruaco.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie
Chordata	Actinopteri	Cichliformes	Cichlidae	<i>Caquetaia kraussii</i>
		Mugiliformes	Mugilidae	<i>Mugil liza</i>
		Siluriformes	Ariidae	<i>Notarius bonillai</i>
1	1	3	3	3

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

Según el “diagnostico ambiental y estrategias de rehabilitación de la Ciénaga de Luruaco” realizado por la CRA y Universidad del Atlántico, en el año 2012, en la ciénaga de Luruaco, se encontraban 8 especies icticas. Estos resultados difieren en gran medida con los encontrado durante este monitoreo, ya que hay una reducción de especies y de su abundancia. En el sistema desaparecieron por completo especies de gran importancia, ecológica y económica como lo es *Prochilodus magdalenae*. Además de otras especies como *Hyphessobrycon proteus*, y *Hyporhamphus unifasciatus*. Los nuevos reportes de *Oreochormis niloticus*, *Mugil liza* y del chivo (*Notarius bonillai*), se dan debido a la siembra de alevines de las mismas, como estrategia de mitigación a la falta de recurso pesquero en el sistema. En la ciénaga de Luruaco, se capturaron en total 7.00 Individuos, valor que es considerablemente menor a lo reportado por la Universidad del Atlántico. Además, hay diferencias en las especies más abundantea, en el 2012 fue *Hyphessobrycon proteus*, mientras que en este monitoreo dominó *Mugil liza* con cuatro (4) individuos (**Tabla 37, Tabla 38**).

Tabla 37. Abundancia (Individuos) de la comunidad de peces reportada en la ciénaga de Luruaco.

Especie	Individuos							Total
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	
<i>Notarius bonillai</i>	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
<i>Caquetaia kraussii</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
<i>Mugil liza</i>	2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00
Total	3.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

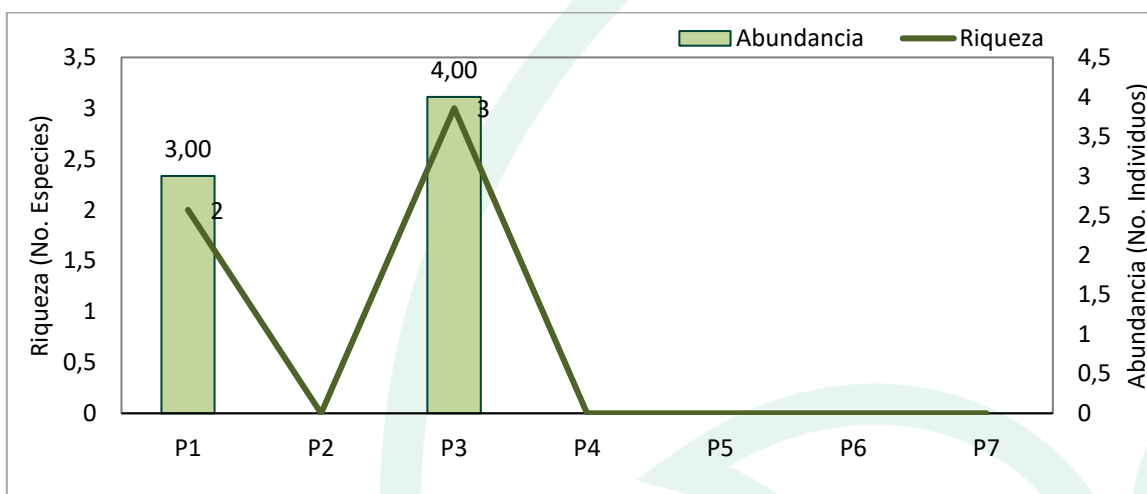


Tabla 38. Abundancia relativa (%) de la comunidad de peces reportada en la ciénaga de Luruaco.

Especie	Abundancia relativa (%)						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
<i>Notarius bonillai</i>	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Caquetaia kraussii</i>	33.33	0.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Mugil liza</i>	66.67	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

Solo se reportaron ejemplares de peces en los puntos P1 y P2, los cuales obtuvieron 3.00 Individuos y 4.00 Individuos respectivamente; mientras que la riqueza varió entre 2-3 morfoespecies, su máximo estuvo relacionado con P3 (**Gráfica 20**).


Gráfica 20. Abundancia (No. Individuos) y Riqueza (No. Especies) de la comunidad de peces en la ciénaga de Luruaco.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022

Según lo reportado por Garcia-Alzate (2012), la presencia de especies como *C. kraussi* y *Mugil liza* se debe principalmente a que estas son especies indicadoras de ambientes hipereutroficados, ya que son altamente tolerantes.

La disminución de diversidad íctica en este sistema se debe al deterioro en la calidad del agua, ya que mientras en el 2012, se reportaron valores de oxígeno disuelto y % de saturación de oxígeno mayores a 6.16 O₂mg/ y 88.6 O₂%, respectivamente, así como valores de salinidad de 0.7. En la actualidad los valores de estas variables han cambiado el oxígeno disuelto y la saturación de oxígeno han disminuido, mientras que la salinidad ha aumentado en gran medida, y con ella la conductividad.



Dado que la riqueza de peces (Taxa_S) en los puntos de monitoreo de la ciénaga de Luruaco fue inferior a cinco (5) no le fueron calculados los índices ecológicos debido a que este número es poco representativo en la estimación de dichos índices, de tal manera que su cálculo resultaría en una sub o sobreestimación de los atributos ecológicos que relacionan los mismos.



6.3.5. Índice de calidad de aguas – Ciénaga de Luruaco.

6.3.5.1. Selección de parámetros.

La selección de parámetros implicó la revisión de información complementaria sobre normas internacionales e índices de calidad ya establecidos para diferentes cuerpos de agua en Colombia y otros países, además de un análisis de los parámetros con mayor representatividad en los monitoreos que se realizan periódicamente en la ciénaga de Luruaco y la actual caracterización. Para la selección de parámetros o variables se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

1. Bibliográfico
2. Normativo
3. Análisis estadístico

6.3.5.2. Criterio bibliográfico.

Se revisaron más de 20 índices de calidad de aguas; sin embargo, se tuvieron en cuenta 11 ICA que fueron diseñados para ecosistemas lénticos en zonas tropicales (**Tabla 39**). Se escogieron las variables que presentaron frecuencia superior al 30% para realizar el diseño del ICA **Tabla 40**

Tabla 39. Algunos índices de calidad de agua revisados. Se indica con * los índices que se utilizaron para estimar las variables que se usan con más frecuencia.

Índice	# de variables	País	Referencia
Índice de Alteración Potencial de la Calidad de Agua (IACAL) – IDEAM. *	5	Colombia	Orjuela y López (2013)
Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA) – IDEAM.	6	Colombia	IDEAM (2013)
ICAcc Ciénaga El Rincón, Atlántico. *	21	Colombia	CRA (2020)
ICA Río Cauca. Modificación ICA NSF	6	Colombia	Rojas (1991)
Adaptación de un ICA para el tramo Salvajina - La Virginia (Río Cauca)	10	Colombia	Patiño et al., (2002)
Índice simplificado de calidad de agua (ISQA) - España - Queralt , 1982 aplicado en el Quimbo, Huila. *	5	Colombia	Losada et al., (2020)



Índice	# de variables	País	Referencia
Índices de contaminación: ICOMI o de mineralización, ICOMO o de contaminación orgánica, ICOSUS relativo a los sólidos suspendidos. *	7	Colombia	Ramírez et al., (1997)
ICA para cuerpos de agua superficiales de Bogotá	10	Colombia	Serna-Mosquera (2018)
ICA-WQI, 2016 (Colombia) (Antioquia, Risaralda...)	5	Colombia	Borrero y Husserl (2018)
Índice agregado de calidad FQ (ICAfa) región Cornare - Río Negro	7	Colombia	Cadavid et al., (2011)
Índice agregado de calidad FQ (ICAfa) región Cornare - otras cuencas	6	Colombia	Cadavid et al., (2011)
Índice de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs). Sistemas epicontinentales de Jalisco. *	18	México	Montoya et al., (1997)
Índice de calidad de agua (ICA) Chihuahua, México (Presa La Boquilla). *	8	México	Rubio et al., (2014)
ICA de aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala	15	México	León (1991)
Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico	11	Puerto Rico	Torres-Vega, (2009)
Índice para valorar la calidad de aguas superficiales en Costa Rica. *	19	Costa Rica	Calvo-Brenes, (2019)
ICAs para ecosistemas hídricos de Chile (ICA natural). *	3	Chile	García-Quevedo, (2012)
Índice de Idoneidad de Hábitat (HSI) CUC. *	7	Colombia	De La Hoz y Jiménez, (2017)
Caracterización CUC. *	16	Colombia	Ariza y Avendaño, (2017)
Índice BMWP adaptado. *	16	Colombia	Castellanos (2017)

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.

Se usó el percentil de corte (30%) para seleccionar las variables más utilizadas, se estableció teniendo en cuenta que algunos de los índices analizados fueron planteados para determinados tipos de contaminantes y funcionan con un reducido número de parámetros; lo cual hace que varios de estos posean porcentajes de baja representatividad.

Tabla 40. Variables usadas con más frecuencia en los Índices de Calidad de Agua, según la revisión de los ICA en la literatura.

Variables	Frecuencia relativa (%)
SST	81.82
Oxígeno Disuelto	72.73
pH	72.73



Variables	Frecuencia relativa (%)
Conductividad	72.73
Turbidez	36.36
DBO ₅	63.64
Dureza Total	45.45
Alcalinidad	45.45
Coliformes Totales	45.45
Fosfatos (PO ₄)	45.45
Nitratos (NO ₃)	45.45

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

6.3.5.3. Criterio Normativo.

Se realizó una revisión sobre las normas vigentes de calidad de aguas, tanto nacional como internacional. A nivel local se tuvo en cuenta la resolución 0000449 de 2021 de la Corporación Regional Autónoma del Atlántico (CRA) donde se establecen los objetivos de calidad para los cuerpos de agua en su jurisdicción. Así mismo, de Colombia se utilizó el decreto 1594 de 1984, en particular lo contenido en los artículos 40, 41 y 45, que se refieren a los cuerpos de agua cuyo uso está destinado a las actividades agrícolas, pecuarias y de preservación de flora y fauna, respectivamente.

Se revisaron 17 Normas y se tuvieron en cuenta 14 de 12 países; los cuales en su mayoría son tropicales. Se seleccionaron las Normas que incluían en su uso la preservación de flora y fauna (**Tabla 41**).

Tabla 41. Normas de calidad de agua revisadas. Se indica con * las Normas que se utilizaron para estimar las variables que se usan con más frecuencia.

Norma	País	# de variables	Usos o indicadores revisados
Decreto 1594/84. *	Colombia	12	Preservación de fauna y flora de aguas cálidas dulces, agrícola, pecuario, límites de descarga de agua dulce.
Decreto 0883/2018.	Colombia	3	Límite de descarga de aguas continentales.
C.R.A. Resolución 0000449/2021. *	Colombia	22	Preservación de fauna y flora.
Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. *	Ecuador	15	Preservación de la vida acuática en aguas dulces, agrícola, pecuario, límites de descarga de agua dulce.
Desarrollos de niveles guías nacionales de calidad de agua ambiente (2004). *	Argentina	5	Preservación de fauna y flora continental, agrícola, pecuario.



Norma	País	# de variables	Usos o indicadores revisados
Normas oficiales para la calidad del agua. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. *	Venezuela	12	Acuícola, agrícola, pecuario, límite de descarga en aguas continentales.
Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). *	Canadá	8	Preservación de fauna y flora continental, agrícola, pecuario.
EPA: Quality criteria for water. *	USA	7	Protección de la vida acuática en aguas dulces.
CONAMA. Normas secundarias de calidad ambiental para las aguas continentales, superficiales y marinas. *	Chile	13	Preservación de fauna y flora en aguas continentales.
Decreto 253/979. Norma para prevenir la contaminación ambiental mediante el control de las aguas. *	Uruguay	12	Preservación de peces, fauna y flora hídrica; agrícola (riego), descargues directos a cursos de agua.
Acuerdo CE-CCA001/89. Por el cual se establecen los criterios ecológicos de calidad de aguas. *	México	12	protección de la vida acuática en agua dulce, pecuario, agrícola (riego).
Decreto Supremo 002-2008-MINAM. *	Perú	8	conservación de ambiente acuático en lagunas y lagos, riego.
Decreto Supremo 004-2017-MINAM. *	Perú	36	extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos y lagunas, riego de vegetales, bebida de animales, conservación del ambiente acuático (lagunas y lagos).
Norma ambiental de calidad de aguas superficiales y costeras. *	República dominicana	20	Aguas aprovechables para el regadío de cultivos, deportes acuáticos sin contacto directo, y usos pecuarios.
Real Decreto 817/2015. APARTADO: LAGOS. L-T24 Interior en cuenca de sedimentación, de origen fluvial, tipo llanura de inundación, mineralización baja o media. Límites de cambio de clase de estado. *	España	3	Requisitos mínimos que serán aplicados a todas las aguas superficiales continentales y marinas, además de aguas superficiales.
Real Decreto 817/2015. APARTADO: LAGOS. L-T25 Interior en cuenca de sedimentación, de origen fluvial, tipo llanura de inundación, mineralización alta o muy alta.	España	1	Requisitos mínimos que serán aplicados a todas las aguas superficiales continentales y marinas, además de aguas superficiales.
Real Decreto 817/2015. EMBALSES. E-T12 Monomítico, calcáreo de zonas no húmedas, pertenecientes a tramos bajos de los ríos principales.	España	1	Requisitos mínimos que serán aplicados a todas las aguas superficiales continentales y marinas, además de aguas superficiales.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.



La revisión indicó que los parámetros que más se usan o de mayor control en las diferentes normas son los que se muestran en la siguiente **Tabla 42**.

Tabla 42.. Parámetros mayormente controlados en la normativa nacional e internacional de calidad de aguas y frecuencia de aparición en las mismas.

Variables	Frecuencia relativa (%)
Arsénico	93.33
Cadmio	86.67
Cobre	93.33
Plomo	86.67
Mercurio	86.67
Oxígeno disuelto	66.67
pH	73.33
DBO ₅	33.33
SAAM	53.33
Grasas y Aceites	60.00
SST	46.67
Amoniaco (NH ₃)	53.33
Nitratos (NO ₃)	40.00
Coliformes Totales	46.67

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.

6.3.5.4. Criterio estadístico.

En el criterio estadístico, se analizaron un total de 74 variables fisicoquímicas, microbiológicas, metales pesados, pesticidas organoclorados y pesticidas organofosforados, obtenidas de los muestreos realizados en noviembre de 2022 en la ciénaga de Luruaco.

Todos los datos se resumieron y analizaron con estadística descriptiva. Previo a los análisis multivariados, se estandarizaron las variables con escala logarítmica; del mismo modo, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para explicar la variabilidad de las variables en los puntos de muestreos, se utilizaron 17 variables del total de variables muestreadas; debido a que se descartaron aquellas que se encontraron por debajo del límite de detección o eran cualitativa como la transparencia. Adicionalmente, se exploró la relación entre la riqueza, abundancia de zooplancton y fitoplancton, con las variables fisicoquímicas a través de un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC). También, se evaluó la relación entre el zooplancton y fitoplancton (abundancias) con las variables ambientales a través de un análisis de correlación de Pearson. Todos los análisis estadísticos y gráficos se realizaron con el paquete de software R (R Core Team, 2020) y Past 4.04.



Variables fisicoquímicas, microbiológicas, metales pesados, pesticidas organoclorados y organofosforados.

El pH, conductividad, temperatura, Nitratos-Cl, oscilaron en rangos estrechos en los puntos de muestreo; mientras que la dureza y coliformes variaron ampliamente. el oxígeno disuelto osciló entre 6 y 8.1 mg/L; los valores de DBO entre 3.1 y 6.2 mg O₂/L; el DQO entre 10 y 16 mg O₂/L. Los intervalos de todas las variables incluyen el mínimo (MIN), máximo (MAX), media y desviación estándar (DE) (Tabla 43).

Tabla 43.. Variables fisicoquímicas, microbiológicas, metales pesados, pesticidas organoclorados y organofosforados n la ciénaga de Luruaco..

Variable	Unidades	Min	Max	Media	DE
FISICOQUÍMICO					
pH	Unidades pH	9.6	9.84	9.7	0.1
Oxígeno disuelto	mg/L	6	8.1	7.0	0.8
Conductividad	µs/cm	846	861	854.4	5.1
Temperatura	°C	33.4	36	34.8	1.0
Transparencia	NA	Cualitativo (semiclaro)			
Clorofila a *	mg/m3 Clorofila a	<0.200			
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO5)	mg O ₂ /L	3.1	6.2	4.3	1E+00
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	10	16	11.4	2E+00
Detergentes (SAAM)	mg SAAM/L	< 0.40			
Dureza Cálrica	mg CaCO ₃ /L	55.2	89.2	67.1	1E+01
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	103.3	128.7	118.5	1E+01
Fósforo Total *	mg P/L	< 0.05			
Grasas y Aceites *	mg/L	< 10			
Hidrocarburos Totales *	mg HT/L	< 10			
Nitratos-Cl	mg N-NO ₃ -/L	0.3	0.4	0.3	0.1
Nitritos *	mg N-NO ₂ -/L	< 0.0050			
Nitrógeno Amoniacal *	mg N-NH ₃ /L	< 0.2			
Ortofosfatos-Cl *	mg P-PO ₄ -/L	< 0.2			
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L	332	363	346.4	1E+01
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	23	33	28.4	3E+00
Sulfatos	mg SO ₄ =/L	72	82	75	4E+00
Sulfuros *	mg S ₂ -/L	<0.85			
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes totales	NMP/100 ml	20	2200	586.9	8E+02
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1.8	68	24.5	2E+01
Pseudomona aeruginosa *	NMP/100 ml	<1.8			
METALES PESADOS					
Arsénico total	mg/L	0.003	0.017	0.005	5E-03
Cadmio total *	mg/L	<0.002			
Cromo total *	mg/L	<0.002			
Cobre total *	mg/L	<0.002			
Mercurio total *	mg/L	<0.0005			
Plomo total	mg/L	0.003	0.006	0.00	0.00
Zinc total	mg/L	0.003	0.07	0.03	0.03



Variable	Unidades	Min	Max	Media	DE
PESTICIDAS ORGANOCLORADOS					
4.4 DDT *	mg/L		<0.000049		
4.4. DDD *	mg/L		<0.000052		
4.4-DDE *	mg/L		<0.000053		
Aldrin *	mg/L		<0.000053		
ALPHA-BHC *	mg/L		<0.000055		
b_BHC *	mg/L		<0.000052		
cis- clordano *	mg/L		<0.000052		
d_BHC *	mg/L		<0.000050		
Dieldrin *	mg/L		<0.000048		
Endosulfan I *	mg/L		<0.000051		
Endosulfan II *	mg/L		<0.000052		
Endosulfan sulfato *	mg/L		<0.000049		
Endrin *	mg/L		<0.000047		
Endrin aldehído *	mg/L		<0.000050		
Endrin cetona *	mg/L		<0.000053		
g-BHC (Lindano) *	mg/L		<0.000049		
Heptacloro *	mg/L		<0.000053		
Heptacloro epoxido (isomero B) *	mg/L		<0.000050		
Metoxicloro *	mg/L		<0.000053		
Pesticidas Organoclorados Totales *	mg/L		<0.000047		
Trans-clordano *	mg/L		<0.000053		
PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS					
Azinfos metil (guti6n) *	mg/L		<0.000176		
Bolstar (sulprofos) *	mg/L		<0.000194		
Clorpirifos (Dursban) *	mg/L		<0.000219		
Coumafos *	mg/L		<0.000176		
Dementon O *	mg/L		<0.000216		
Diazinon *	mg/L		<0.000201		
Diclorvos (DDVP) *	mg/L		<0.000211		
Disulfoton *	mg/L		<0.000199		
Ethoprofos *	mg/L		<0.000213		
Fencholorfos *	mg/L		<0.000189		
Fensulfothion *	mg/L		<0.000225		
Fention *	mg/L		<0.000198		
Merphos *	mg/L		<0.000202		
Metil Paration *	mg/L		<0.000176		
Mevinfos *	mg/L		<0.000224		
Naled *	mg/L		<0.000233		
Pesticidas Organofosforados Totales *	mg/L		<0.000176		
Phorate *	mg/L		<0.000215		
Stirofos *	mg/L		<0.000224		
Tokution (prothiofos) *	mg/L		<0.000186		
Tricloronato *	mg/L		<0.000197		

Se indica con * las variables que no se detectaron o se encontraron por debajo del valor del límite permisible

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.



El análisis de componentes principales (PCA) de la ciénaga de Luruaco indicó que el componente principal 1 (CP 1) explica el 79.3% de la varianza total y el CP 2 explica un 17.5% adicional (**Gráfica 21**); los cuales representan el 97% de la varianza acumulada (**Tabla 44**). El PCA indica que en el CP 1 la relación más fuerte se presentó en los coliformes totales, coliformes termotolerantes, nitratos-Cl, Sólidos Suspendidos Totales, pH y OD (**Gráfica 22**); mientras que en el CP 2 la relación más fuerte fue con la conductividad, temperatura y sólidos suspendidos totales (**Gráfica 23**). En la **Tabla 45** se incluyen los puntajes de las variables con respecto a los Componentes Principales.

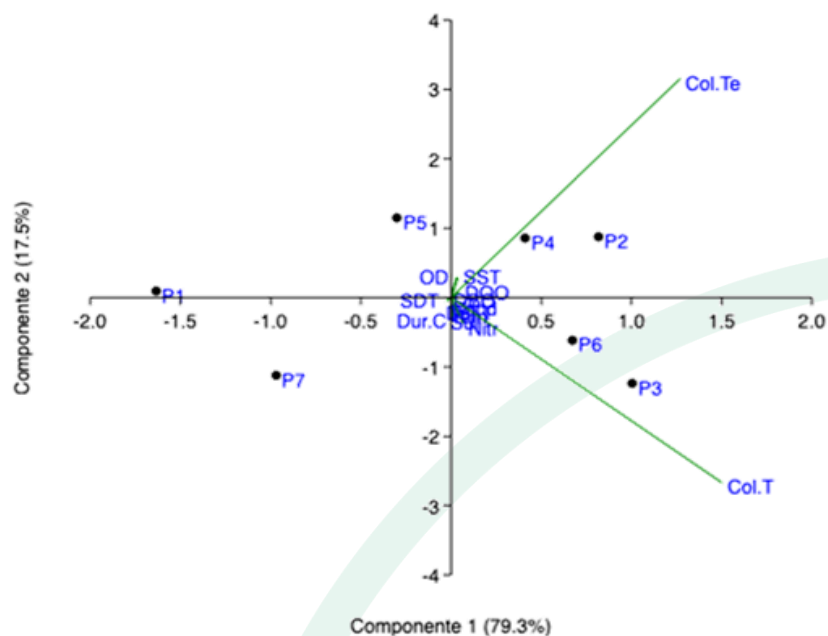
Con base a los mayores valores de las correlaciones en cada componente (**Gráfica 22**, **Gráfica 23** y los puntajes de las variables con respecto a los dos primeros componentes (**Tabla 45**), se escogieron aquellas variables con mayor incidencia en el ACP; las cuales se asume, tienen una mayor capacidad de explicar los cambios de las condiciones ambientales y de calidad del agua en la ciénaga de Luruaco. La **Tabla 46** muestra la selección de variables con mayor peso en el análisis (color verde y naranja), se seleccionaron las variables que tiene más peso (valores cercanos a +1 y -1) y son más frecuentes en los primeros dos componentes.

Tabla 44. Eigenvalores y porcentaje de varianza del análisis de componentes principales (ACP).

CP	Eigenvalue	% varianza
1	0.72	79.31
2	0.16	17.51
3	0.02	2.55
4	0.00	0.32
5	0.00	0.29
6	0.00	0.02

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.

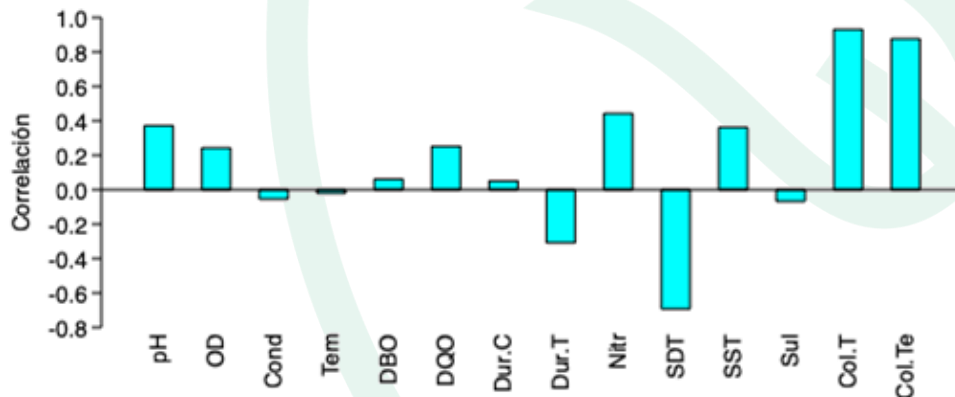




Gráfica 21 Análisis de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas en la ciénaga de Luruaco.

Oxígeno disuelto: OD, conductividad: Cond, temperatura: Tem, Demanda Bioquímica de Oxígeno: DBO, Demanda Química de Oxígeno: DQO, dureza cálcica: Dur.C, dureza total: Dur.T, nitratos-Cl: Nitr, Sólidos Disueltos Totales: SDT, Sólidos Suspendedos Totales: SST, sulfatos: Sul, coliformes totales: Col.T, coliformes termotolerantes: Col.Te.

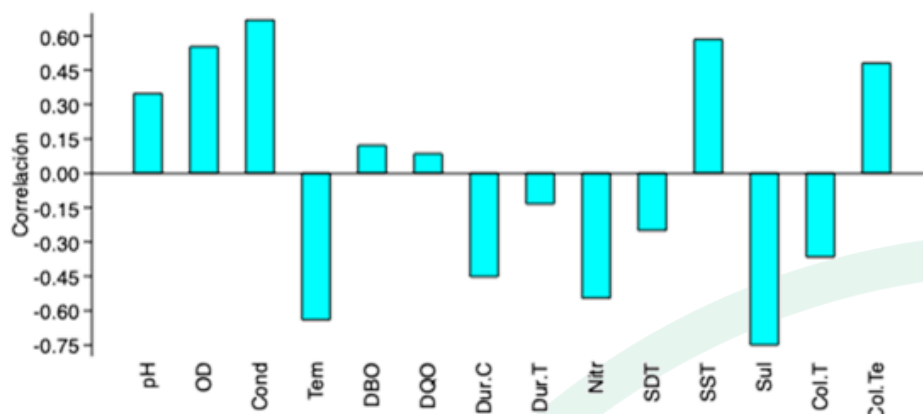
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.



Gráfica 22. Correlación de las variables fisicoquímicas en el Componente Principal 1.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.





Gráfica 23. Correlación de las variables fisicoquímicas en el Componente Principal 2.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

Tabla 45. Puntajes de las variables con respecto a los Componentes Principales. Se resaltan en color aquellas variables que presentan más relación con el eje PC 1 y PC 2.

Variable/Componente	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6
pH	0.3708	0.3481	-0.3034	0.6529	-0.4392	0.1728
OD	0.2425	0.5524	-0.2653	0.7094	-0.2413	0.0626
Cond	-0.0545	0.6687	-0.3886	-0.1749	0.5111	0.3270
Tem	-0.0205	-0.6395	-0.4034	-0.1821	0.5971	0.195
DBO	0.0615	0.1217	0.9809	0.0432	-0.1313	-0.0086
DQO	0.2517	0.0850	0.9272	0.0548	0.2522	0.0552
Dur.C	0.0504	-0.451	0.8843	0.0474	0.0422	-0.0862
Dur.T	-0.3082	-0.1334	0.5492	0.4724	0.6001	0.0468
Nitr	0.4427	-0.5454	-0.4604	0.4938	0.2132	-0.0706
SDT	-0.6917	-0.2499	0.4352	-0.1689	0.2044	0.4463
SST	0.3625	0.5839	-0.0997	-0.2912	0.6567	-0.0392
Sul	-0.0673	-0.7492	0.3817	-0.1751	-0.5074	-0.0147
Col.T	0.9308	-0.3653	-0.0005	-0.002	-0.0013	0.0010
Col.Te	0.8768	0.4807	-0.0023	0.0002	-0.0005	-0.0009

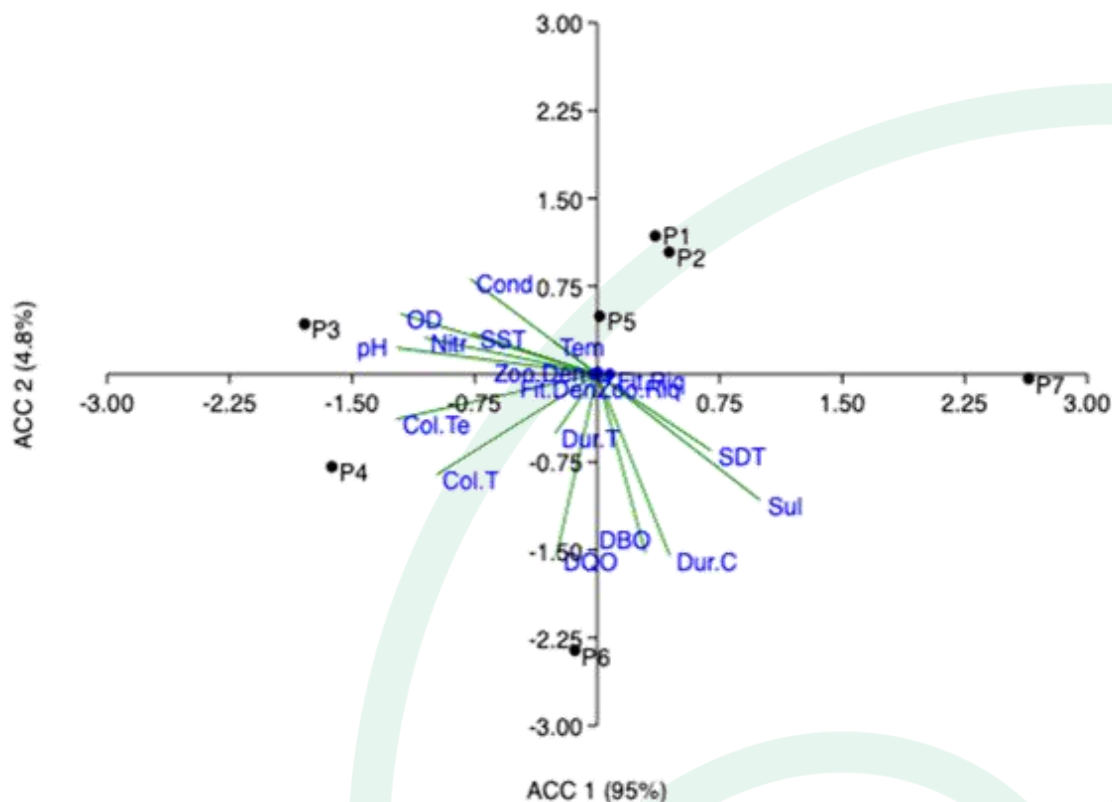
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.

Relación entre las variables abióticas con el fitoplancton y zooplancton

En el Análisis de Correspondencia Canónica (ACC), los dos primeros ejes explican 99.8 % de la varianza (ACC1 95%, ACC2 4.8%) y los autovalores fueron 0.0006 y 3.05E-05, para el primer y segundo eje respectivamente (**Gráfica 24**). Las variables que se correlacionaron significativamente con el primer eje fueron el pH ($r = -0.61$), coliformes termotolerantes ($r = -0.61$) y OD ($r = -0.60$). Mientras que en el eje dos las variables que se correlacionaron significativamente fueron DQO ($r = -0.77$), dureza cálcica ($r = -0.77$), DBO ($r = -0.76$), sulfatos ($r = -0.53$) y conductividad ($r = 0.40$) (**Tabla**



47). El ACC indicó que la densidad de zooplancton se relacionó con SST, OD y Nitratos. En tanto que la densidad de fitoplancton se relacionó principalmente con el DQO.



Gráfica 24. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) en 7 puntos de muestreos de la ciénaga de Luruaco. Las variables fisicoquímicas están representadas en color azul, los puntos de muestreos en puntos de color negro y las variables biológicas en puntos azules. Zooplancton densidad (Ind/L): Zoo.Den, zooplancton riqueza (# sp): Zoo.Riq, fitoplancton densidad (Ind/L): Fit.Den, fitoplancton riqueza (# sp): Fit.Riq, Oxígeno disuelto: OD, conductividad: Cond, temperatura: Tem, Demanda Bioquímica de Oxígeno: DBO, Demanda Química de Oxígeno: DQO, dureza cálcica: Dur.C, dureza total: Dur.T, nitratos-Cl: Nitr, Sólidos Disueltos Totales: SDT. Sólidos Suspendedos Totales: SST, sulfatos: Sul, coliformes totales: Col.T, coliformes termotolerantes: Col.Te.

Tabla 46. Correlación de las variables en los ejes del Análisis de Correspondencia Canónica. Se resaltan en color aquellas variables con mayor valor en el Eje 1 y Eje 2.

Variable	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Zoo.Den	-0,0188	0,0016	0,0003
Zoo.Riq	0,0039	0,0146	-0,0003
Fit.Den	-0,0030	-0,0037	-0,0002
Fit.Riq	0,0767	-0,0005	0,0003
pH	-0,6141	0,1122	-0,3397
OD	-0,6029	0,2577	-0,3068
Cond	-0,3894	0,4077	-0,2572
Tem	-0,1339	0,1395	-0,2855
DBO	0,1472	-0,7637	0,0786
DQO	-0,1250	-0,7759	-0,0655



Variable	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Dur.C	0,2221	-0,7752	0,0422
Dur.T	-0,1288	-0,2535	-0,4113
Nitr	-0,5290	0,1554	-0,2952
SDT	0,3491	-0,3266	-0,3595
SST	-0,3821	0,1748	0,0945
Sul	0,4982	-0,5374	0,1627
Col.T	-0,4921	-0,4299	0,0055
Col.Te	-0,6147	-0,1920	0,0820

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.

Zooplankton densidad (Ind/L): Zoo.Den, zooplankton riqueza (# sp): Zoo.Riq, fitoplancton densidad (Ind/L): Fit.Den, fitoplancton riqueza (# sp): Fit.Riq, Oxígeno disuelto: OD, conductividad: Cond, temperatura: Tem, Demanda Bioquímica de Oxígeno: DBO, Demanda Química de Oxígeno: DQO, dureza cálcica: Dur.C, dureza total: Dur.T, nitratos-Cl: Nitr, Sólidos Disueltos Totales: SDT. Sólidos Suspendidos Totales: SST, sulfatos: Sul, coliformes totales: Col.T, coliformes termotolerantes: Col.Te.

Teniendo en cuenta los resultados de los análisis del ACC y ACP, se escogieron las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas de la **Tabla 47** para el análisis de correlación de Pearson; las variables fueron analizadas desde el punto de vista de la importancia que representan. El análisis de correlación de Pearson mide la relación entre las variables (-1 a +1) y la representatividad de las correlaciones significativamente diferentes de cero (0) con un 95% de confianza cuando el valor p es < 0.05. De este análisis se obtuvo **Gráfica 25**, en la que se muestran las correlaciones y significancia entre las variables.

Tabla 47.. Variables seleccionadas para el análisis de correlación de Pearson a partir de los análisis de ACP y ACC.

Variables fisicoquímicas	Variables Hidrobiológicas
pH	Zoo.Den
OD	Fit.Den
DBO	
DQO	
Conductividad	
Temperatura	
SDT	
SST	
Sulfatos	
Coliformes totales	
Coliformes termotolerantes	

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.

Los valores de correlación de Pearson indicaron correlaciones estadísticamente significativas entre algunas variables analizadas (valor $p \leq 0.05$). Se encontró una alta correlación positiva entre la densidad de fitoplancton con el pH ($R^2 = 0.87$, $p\text{-valor} \leq 0.05$) y con el OD ($R^2 = 0.82$, $p\text{-valor} \leq 0.05$) (**Tabla 48**, **Gráfica 25**).

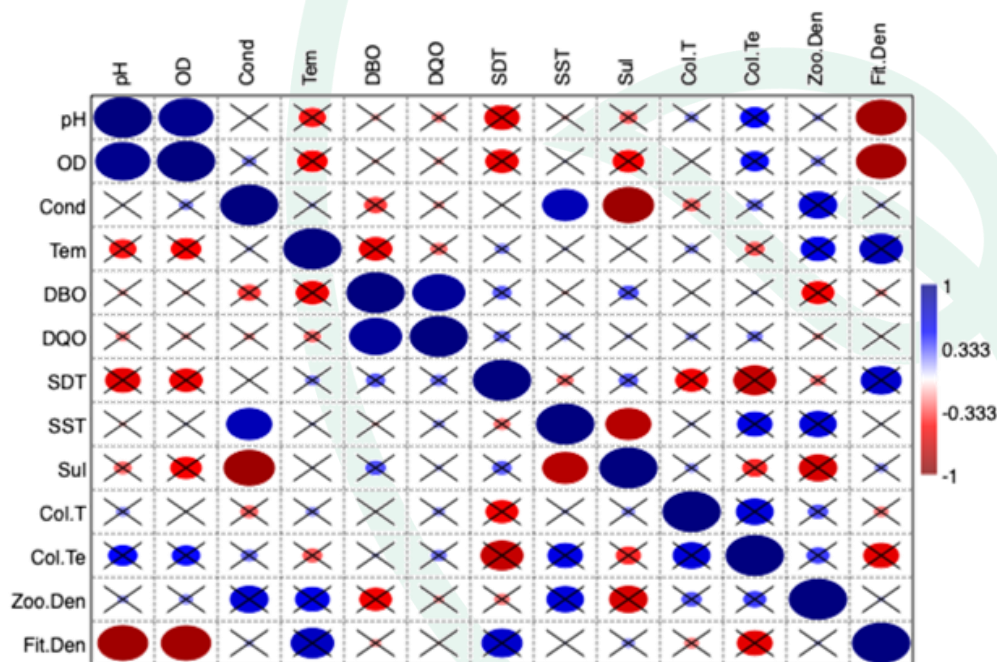


Tabla 48. Matrix de correlación de Pearson entre las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas.

Variable	pH	OD	Cond	Tem	DBO	DQO	SDT	SST	Sul	Col.T	Col.Te	Zoo.Den	Fit.Den
	<i>p-valor</i>												
pH		0.00	0.92	0.30	0.75	0.63	0.16	0.80	0.52	0.64	0.26	0.71	0.01
OD	0.94		0.62	0.24	0.80	0.74	0.19	0.88	0.22	0.96	0.28	0.63	0.01
Cond	0.05	0.23		0.78	0.40	0.70	0.97	0.04	0.01	0.52	0.55	0.11	0.76
Tem	-0.46	-0.51	0.13		0.19	0.54	0.61	0.84	0.91	0.64	0.48	0.16	0.06
DBO	-0.15	-0.12	-0.38	-0.56		0.01	0.49	0.83	0.46	0.98	0.81	0.20	0.69
DQO	-0.22	-0.16	-0.18	-0.28	0.90		0.55	0.67	0.77	0.66	0.57	0.72	0.90
SDT	-0.60	-0.56	-0.02	0.24	0.32	0.28		0.55	0.49	0.20	0.06	0.58	0.08
SST	-0.12	0.07	0.78	0.10	-0.10	0.20	-0.27		0.04	0.79	0.16	0.13	0.90
Sul	-0.30	-0.53	-0.88	0.05	0.34	0.13	0.32	-0.78		0.65	0.35	0.11	0.65
Col.T	0.22	0.02	-0.29	0.21	0.01	0.20	-0.55	0.12	0.21		0.12	0.46	0.60
Col.Te	0.49	0.48	0.27	-0.33	0.11	0.26	-0.73	0.60	-0.42	0.64		0.40	0.15
Zoo.Den	0.17	0.23	0.66	0.59	-0.55	-0.17	-0.26	0.63	-0.65	0.33	0.38		0.80
Fit.Den	-0.87	-0.86	0.14	0.74	-0.19	-0.06	0.70	0.06	0.21	-0.24	-0.60	0.12	

Oxígeno disuelto: OD, conductividad: Cond, temperatura: Tem, Demanda Bioquímica de Oxígeno: DBO, Demanda Química de Oxígeno: DQO, Sólidos Disueltos Totales: SDT, Sólidos Suspendidos Totales: SST, sulfatos: Sul, coliformes totales: Col.T, coliformes termotolerantes: Col.Te, Zooplancton densidad (Ind/L): Zoo.Den, fitoplancton densidad (Ind/L): Fit.Den

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.


Gráfica 25. Matrix de correlación de Pearson entre las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas (p-value ≤ 0.05 marcados con X).

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2022.



La relación que se encontró en el análisis de Pearson entre el fitoplancton con el pH, concuerda con otros estudios que han demostrado que la composición de especies de las comunidades de fitoplancton está altamente correlacionada con el pH (Dixit et al., 1992). Ha sido posible encontrar diferencias de pH tan pequeñas como 0.1 unidades, que influyen en la estructura de la comunidad de fitoplancton (Hinga, 2002).

Por otro lado; el oxígeno disuelto (OD) se refiere al oxígeno gaseoso que se disuelve en agua, es vital porque proporciona oxígeno para los organismos que viven dentro de los cuerpos de agua. Los humedales pueden experimentar agotamiento de oxígeno en cualquier época del año, según el clima y la cantidad de nutrientes que haya recibido el humedal; sin embargo, la mayoría de los agotamientos de oxígeno ocurren en climas cálidos. El agotamiento del oxígeno en el agua puede causar estrés y posiblemente la muerte de los organismos. El plancton no solo es un elemento clave de la red alimentaria de los humedales, sino que también tiene un efecto significativo sobre el clima y la composición de la atmósfera, en particular sobre la cantidad de oxígeno (Takarina et al., 2017). Debido a lo anterior es relevante la relación que se encontró entre el fitoplancton con el OD.

Finalmente, para escoger las variables del componente estadístico, se tuvieron en cuentas las variables del Componentes Principales (ACP) con mayor correlación del CP 1 (explica el 79.3%); también se tuvieron en cuenta las variables del Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) con más peso del eje 1 (explica el 95%). Finalmente, se escogieron las variables que en la correlación de Pearson indicaron relaciones estadísticamente significativas entre las variables fisicoquímicas y las hidrobiológicas (**Tabla 49**).

Tabla 49.. Variables seleccionadas en el criterio estadístico.

Variables fisicoquímicas	Variables Hidrobiológicas
pH	Fit.Den
OD	
DBO	
SST	
Coliformes totales	

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.



6.3.5.5. Consolidado de variables seleccionadas.

Se agruparon las variables obtenidas por los diferentes criterios y se excluyeron las que tenían las siguientes características: menor frecuencia, baja correlación (ACP, CCA), menor peso en el ACP, las que resultan inviables de analizar (costos o exigencias técnicas) y las que no registraron concentraciones detectables o no representan históricamente una variación de importancia desde el punto de vista ambiental y la calidad del agua (en particular metales pesados, pesticidas organoclorados y pesticidas organofosforados). El consolidado de los criterios bibliográfico, normativo y estadístico, dio como resultado la selección consolidada de 14 variables, que fueron agrupadas de acuerdo al tipo de variable (**Tabla 50**).

Tabla 50. Consolidado de variables y agrupación de acuerdo con el criterio relacionado.

Tipo de variable	Variable	Criterio bibliográfico	Criterio Normativo	Criterio estadístico
Concentración de metales y metaloides	Arsénico		X	
	Cobre		X	
	Plomo		X	
Condiciones del medio	Dureza Total	X		
	Oxígeno Disuelto*	X	X	X
	pH*	X	X	X
	SST*		X	X
MO y condiciones microbiológicas	DBO ₅	X	X	X
	Coliformes Totales*	X	X	X
Contaminación residual	Grasas y Aceites		X	
	SAAM		X	
Productividad	Fitoplancton (densidad)*			X
	Fosfatos (PO ₄)	X		
	Nitratos (NO ₃)	X	X	

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.

6.3.6. Construcción del índice y curvas de calidad.

El desarrollo de las curvas de calidad se realizó asignando valores de calidad a diferentes concentraciones, teniendo en cuenta una escala de 0 a 100, siendo 100 la calidad óptima y 0 la calidad más baja. Las categorías comprenden los grados de calidad muy buena (valor 100-80), buena (79-60), regular (59-40), mala (39-20) y muy mala (19-0) (**Tabla 51**).



Tabla 51. Categoría de calidad de agua y su correspondiente escala de valor y color.

GRADO DE CALIDAD	ESCALA	
	Valor	Color
MUY BUENA: Indica que las condiciones son excepcionalmente favorables para el ecosistema y la sobrevivencia de los organismos que lo habitan.	100	
	80	
BUENA: indica que los niveles de contaminación son muy bajos y se cumple con las condiciones para la conservación de la fauna y la flora.	79	
	60	
REGULAR: Indica que las condiciones son parcialmente favorables para la sobrevivencia de los organismos. Puede que algunas variables excedan los límites de calidad o se encuentren en el límite de efectos crónicos adversos.	59	
	40	
MALA: indica que la contaminación es evidente, una parte significativa de las variables muestran valores por encima del límite de calidad o están cerca de concentraciones con efectos agudos para la biota acuática.	39	
	20	
MUY MALA: Indica que existen altos niveles de contaminación, con condiciones que limitan la sobrevivencia de los organismos acuáticos, afectando significativamente su abundancia y diversidad. Muchas variables o variables críticas estarían sobrepasando niveles adecuados para la preservación de la fauna y flora.	19	
	10	
	0	

Los valores en la escala para cada variable seleccionada tuvieron en cuenta, los resultados del monitoreo, la normativa nacional (Dec. 1594/1984) en particular lo contenido en los artículos 40, 41 y 45, que se refieren a los cuerpos de agua cuyo uso está destinado a las actividades agrícolas, pecuarias y de preservación de flora y fauna, respectivamente, los objetivos de calidad para los cuerpos de agua de la subcuenca (resolución 449/2021 de la C.R.A.) y otras normativas aplicadas a sistemas continentales de otros países como Ecuador, Argentina, Venezuela, Canadá, U.S.A., Chile, Uruguay, México, Perú, República Dominicana, España. Del mismo modo se tuvieron en cuenta los desarrollados o aplicados por Ramírez et al (1997) y Ramírez et al (1999), IDEAM, Montoya et al., (1997), Rojas (1991), Castellanos (2017), Torres-Vega (2009), García-Quevedo (2012), De la Hoz-Jiménez (2017), Ariza y Avendaño (2017), Serna-Mosquera (2018), Calvo-Brenes (2019), entre otras publicaciones.

Las curvas de calidad y las respectivas expresiones matemáticas se obtuvieron a partir del software CurveExpert Professional 2.7.3, seleccionando diferentes modelos en cada caso, teniendo como criterio el mayor coeficiente de correlación, que se estuvo entre 0.97-0.99 en la mayoría de los casos.

6.3.6.1. Subíndice concentración de metales pesados

En Colombia, el uso indiscriminado de metales pesados en actividades mineras, el vertimiento de aguas servidas, el uso de compuestos químicos en actividades ilícitas, el vertimiento de compuestos



relacionados con actividades industriales y las prácticas agrícolas inadecuadas, ha llevado a que la contaminación química en especial por metales pesados, constituya un serio problema ambiental debido a su toxicidad, tanto para los ecosistemas acuáticos, como para los organismos que los habitan.

Para la construcción de este subíndice se tuvo en cuenta el arsénico (As), el cobre (Cu) y el plomo (Pb), de acuerdo a la frecuencia de su uso en diferentes normativas de unos 10 países consultados, entre los cuales Chile, Argentina, Uruguay, Perú, Canadá y Estados Unidos, tiene criterios específicos para la preservación de fauna y flora en sistemas acuáticos; sin embargo se debe tener en cuenta que el Cu no fue detectable en la ciénaga de Luruaco o se encontró debajo del valor de límite permisible (VLP). Adicionalmente, se tuvo en cuenta los reportes en el monitoreo en la ciénaga de Luruaco en noviembre de 2022.

De estos metales, el Arsénico (As) es un tóxico natural de preocupación mundial. Como elemento se encuentra en la atmósfera, los suelos, en las aguas naturales y en los organismos vivos. Se moviliza en el medio ambiente a través de los niveles tróficos gracias a la combinación química con otros elementos, que sirven para producir actividad biológica. Su procedencia principalmente obedece a emisiones volcánicas, así como al desarrollo de actividades antropogénicas específicas como la minería, la combustión de combustibles fósiles, el uso de pesticidas, herbicidas y el curado de maderas (Welch et al., 1994). La presencia de trazas de As en el P2 de la ciénaga de Luruaco se puede atribuir a que se encuentra en estado natural o que cercano al punto de muestreo hay pequeños cultivos que hacen uso de pesticidas y herbicidas.

En aguas superficiales y subterráneas el arsénico se encuentra respectivamente en forma de Arsenato (valencia As+5) y Arsenito (valencia As+3) respectivamente. El arsénico en estas aguas es captado para el abastecimiento de poblaciones y por ende uno de los usos más comunes es el consumo humano; denotando ante una concentración elevada de dichas especies químicas, una serie de efectos adversos en la salud, asociados principalmente al contacto prolongado, provocando un envenenamiento progresivo que da pie a la enfermedad conocida como hidroarsenicismo crónico (Villalobos, 2011).



El arsénico es considerado como una toxina esencial porque se requiere en cantidades muy pequeñas para el crecimiento y el metabolismo, pero en concentraciones relativamente altas resulta tóxico (Krumova et al., 2008). En general los efectos de los metales pesados en organismos como los peces, se manifiestan afectando la tasa de crecimiento, funciones fisiológicas, reproducción, y mortalidad. Estos pueden ingresar a través de tres vías: branquias, tracto digestivo y por la piel; siendo las branquias la principal vía de ingreso (Shafaqat et al., 2014). El arsénico afecta los parámetros hematológicos, bioquímicos e ionoregulatorios de los seres vivos (Kumari et al., 2016). Las exposiciones continuas a bajas concentraciones dan como resultado la bioacumulación en organismos como los peces, acumulándose en órganos como el hígado y riñones.

En cuanto al cobre y el plomo, son metales, que se han relacionado con la coagulación de moco en la superficie de las agallas de los peces y consecuentemente fallas en la respiración (Authman et al., 2015).

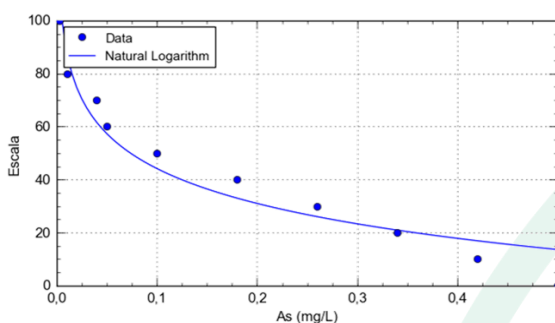
El cobre es un elemento que se encuentra en todos los organismos como microcomponente. Es necesario para el metabolismo normal de muchos organismos vivos. Es un micronutriente esencial, necesario para las plantas a niveles muy bajos. Sin embargo, a valores altos resulta tóxico debido a su unión con la membrana celular, que impide el transporte a través de la pared de la célula (Safavi et al., 2001). La exposición de especies acuáticas al cobre puede provocar la muerte u otros efectos adversos como reducción del crecimiento o debilitamiento de la reproducción, puesto que afecta a sistemas múltiples interfiriendo en procesos bioquímicos específicos (enzimas) y/o membranas celulares o de orgánulos (Díaz, 2007).

El plomo (Pb) es de los metales pesados más tóxicos es el plomo (Pb), cuyo uso generalizado ha causado una gran contaminación ambiental y problemas de salud en muchas partes del mundo (Jaishankar et al., 2014; Tanjung et al., 2019). El Pb es un elemento de alta densidad, presente de forma natural en la corteza terrestre. A pesar de ser un metal, es mal conductor de la electricidad y, en ambientes húmedos, se cubre con una capa de óxido (Boldyrev y Lead, 2018). El Pb y sus derivados tienen la capacidad de bioacumularse; por esta razón, la concentración en suelo, plantas y animales aumenta a lo largo de la cadena alimentaria. La fitotoxicidad por Pb causa trastornos en las actividades fisiológicas normales, matando células cuando los organismos están expuestos a altas concentraciones (Ali et al., 2019; Hernández-Pitalúa et al., 2022). Se debe realizar seguimiento



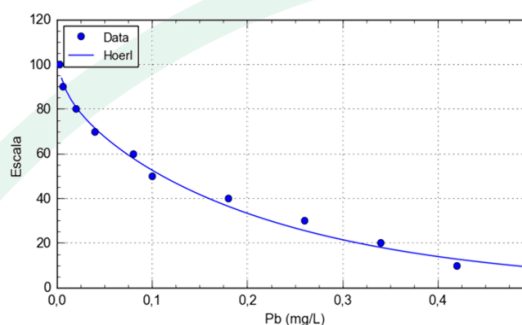
a presencia de trazas de Pb en el P2 de la ciénaga de Luruaco para definir si la presencia es de tipo natural o por contaminantes.

A partir del consenso bibliográfico, normativo y estadístico, a continuación, se registran las respectivas curvas de calidad para el arsénico y plomo en la ciénaga de Luruaco.



$$y = a + b \ln(x)$$

Gráfica 26. Curva de calidad para el arsénico. $a = 4.11$
 $b = -1.90$. Coeficiente de correlación $(r) = 0.96$



$$y = ab^x x^c$$

Gráfica 27. Curva de calidad para el plomo. $a = 6.91$,
 $b = 1.57$, $c = -6.13$. Coeficiente de correlación $(r) = 0.99$.

6.3.6.2. Subíndice condiciones básicas del medio

Las variables seleccionadas para la construcción de este subíndice fueron el oxígeno disuelto (OD), el pH y los sólidos suspendidos totales (SST). Para cada variable se hizo un consenso a partir del criterio estadístico, diferentes normas, regionales, nacionales e internacionales, así como el desarrollo de índices similares aplicados a calidad de aguas naturales a nivel nacional y regional, incluyendo el ICAcc aplicado a la ciénaga El Rincón, el ICAcc aplicado en el embalse del Guajaro y los resultados del monitoreo realizado en noviembre de 2022 en la ciénaga de Luruaco.

Algunas de las fuentes de información para construir el consenso, se relacionan con normas asociadas a la conservación de fauna, flora y ecosistemas continentales, entre estas la norma de calidad de aguas y descarga de efluentes al recurso agua de Ecuador, normas oficiales para la calidad del agua. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos de Venezuela, Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) de Canadá, la USEPA, Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para las aguas continentales, superficiales y marinas de Chile, Decreto 253/979. Norma para prevenir la contaminación ambiental mediante el control de las aguas de Uruguay, el acuerdo



CE-CCA001/89. Por el cual se establecen los criterios ecológicos de calidad de aguas de México, la norma ambiental de calidad de aguas superficiales y costeras de República Dominicana, el Decreto Supremo 004-2017-MINAM de Perú, el Real Decreto 817/2015. B) APARTADO: LAGOS. L-T25 Interior en cuenca de sedimentación, de origen fluvial, tipo llanura de inundación, mineralización alta o muy alta de España, el Decreto 1594/84 del ministerio de Agricultura de Colombia y la Resolución de Objetivos de Calidad 0000449 de 2021 de la CRA.

Para el caso del oxígeno disuelto; adicionalmente, se consultaron algunas fuentes de información relativas a los efectos de la sobresaturación de oxígeno, Suplee y Lightner (1976), Weitcamp y Katz (1980), Elston (1983), Bohl (1997), Maynard (2008). También se tuvo en cuenta otros índices como el UWQI (Universal Water Quality Index) basado en la normativa europea, Ramírez et al (1997) y Ramírez et al (1999).

Todos los animales acuáticos necesitan OD para respirar, los niveles bajos de oxígeno (hipoxia) o la ausencia de niveles de oxígeno (anoxia) pueden ocurrir cuando los microorganismos descomponen el exceso de materia orgánica, como las grandes floraciones de algas. Durante este proceso de descomposición, se consume el OD del agua. Los niveles bajos de oxígeno a menudo ocurren en el fondo de la columna de agua y afectan a los organismos que viven en los sedimentos. En algunos cuerpos de agua, los niveles de OD fluctúan periódicamente, estacionalmente e incluso como parte de la ecología natural diaria del recurso acuático; el agua en altitudes más bajas puede contener más oxígeno disuelto que el agua en altitudes más altas. A medida que bajan los niveles de OD, algunos animales sensibles pueden migrar, enfermar o incluso morir. Los niveles de OD inferiores a 3 miligramos por litro (mg/L) son motivo de preocupación y las aguas con niveles inferiores a 1 mg/L se consideran hipóxicas y, por lo general, desprovistas de vida (EPA, 2022).

El valor máximo de OD del monitoreo en la ciénaga de Luruaco fue de 8.1 mg/L, sin embargo se han registrados valores máximos de 10.08 mg/L y en la ciénaga de Tocagua que se encuentra a un costado de la ciénaga de Luruaco valores máximos de 13.5 mg/L (Moreno et al, 2022). Lo cual indica; que las concentraciones de oxígeno cambian en función a la temperatura del agua, la presión atmosférica y el contenido de sales disueltas. Algunos estudios han mostrado que los cambios de OD cambian significativamente según la hora del día; el valor mínimo de OD a menudo se alcanza entre las 4 y las 6 horas (20 % de saturación de OD) y los picos de OD se alcanzan entre las 15 y las



17 horas (180 % de saturación de OD). Durante el día, debido a la alta intensidad de radiación, el proceso de fotosíntesis de las algas es fuerte y genera una gran cantidad de OD. Por la noche, la enorme densidad de algas y la respiración de las algas consumen grandes cantidades de oxígeno disuelto, lo que hace que el OD descienda (Viet et al., 2016; Lee et al., 2022).

También se debe tener en cuenta que generalmente, un nivel alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad; sin embargo, niveles altos de oxígeno también están asociados a fenómenos de eutrofización donde la presencia de algas genera niveles de oxígeno por encima de los valores de saturación. La eutrofización de los cuerpos de agua es un problema ambiental importante; es causada por el aumento de la carga de nutrientes (nitrógeno y fósforo) asociada a las actividades urbanas, industriales y agrícolas. Del mismo modo; la eutrofización está asociada al crecimiento acelerado del fitoplancton (floración de algas). La presencia de ciertas especies de cianobacterias dentro de las floraciones es de especial cuidado, ya que pueden producir hepatotoxinas y neurotoxinas que pueden comprometer gravemente la salud humana y de la fauna (Viet et al., 2016). En el año 2019 se presentó un “afloramiento” temporal de algas de tipo cianobacterias en el embalse del Guajaro que causó la muerte de ganado, cerdo, perros, aves de corral y peces.

El pH del agua puede variar de ácido a básico en la escala de pH de 1 a 14, un pH inferior a 7 hace que el agua sea más ácida, mientras que un pH superior a 7 hace que el agua sea más alcalina (básico). La mayoría de los organismos acuáticos prefieren un rango de pH entre 6.5 a 9.0, aunque algunos organismos pueden vivir en el agua con niveles de pH fuera de este rango. A medida que los niveles de pH se alejan de este rango (hacia arriba o hacia abajo), puede estresar los sistemas de los animales y reducir las tasas de eclosión y supervivencia. Cuanto más fuera del rango de pH óptimo esté un valor, mayores serán las tasas de mortalidad; cuanto más sensible es una especie, más afectada se ve por los cambios de pH. Además de los efectos biológicos, los niveles extremos de pH suelen aumentar la solubilidad de los elementos y compuestos, lo que hace que las sustancias químicas tóxicas sean más “móviles” y aumenta el riesgo de absorción por parte de la vida acuática (EPA, 2023).

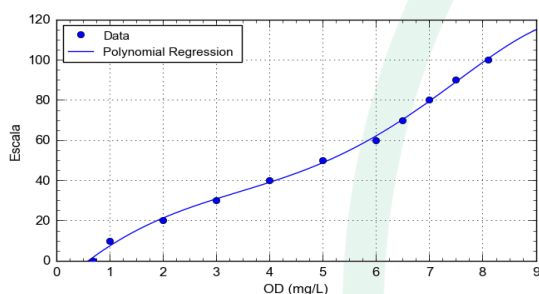
Los cambios menores de pH pueden tener efectos a largo plazo. Un ligero cambio en el pH del agua puede aumentar la solubilidad del fósforo y otros nutrientes, haciéndolos más accesibles para el crecimiento de las plantas. En un humedal oligotrófico, o un humedal bajo en nutrientes para plantas y alto en niveles de oxígeno disuelto, esto puede causar una reacción en cadena. Con



nutrientes más accesibles, las plantas acuáticas y las algas prosperan, aumentando la demanda de oxígeno disuelto. Esto crea un humedal eutrófico, rico en nutrientes y vida vegetal, pero con bajas concentraciones de oxígeno disuelto. En un humedal eutrófico, otros organismos que viven en el agua se estresarán, incluso si los niveles de pH se mantienen dentro del rango óptimo (EPA, 2023).

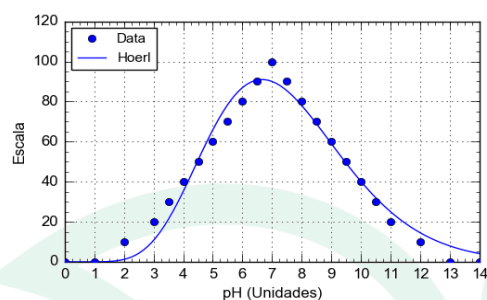
La ciénaga de Luruaco presenta valores de pH con media de 9.7; lo cual puede deberse a factores naturales. La mayoría de los cambios naturales ocurren debido a las interacciones con la roca circundante (particularmente las formas de carbonato) y otros materiales. Además, las concentraciones de CO₂ pueden influir en los niveles de pH.

Como resultado, a continuación, se registran las respectivas curvas de calidad y sus formulaciones, para la ciénaga de Luruaco.



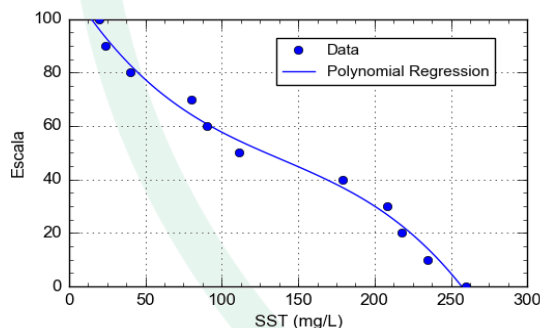
$$y = a + bx + cx^2 + \dots$$

Gráfica 28. Curva de calidad para el OD. a= 1.3 b= 2.46, c= -4.06, d= 5.3. Coeficiente de correlación (r)=0.99.



$$y = ab^x x^c$$

Gráfica 29. Curva de calidad para el pH. a= 4.66 b= -4.8. Coeficiente de correlación (r)=0.88.



$$y = a + bx + cx^2 + \dots$$

Gráfica 30. Curva de calidad para SST. a= 1.1 b= -9.1, c= 4.7, d= -1.1. Coeficiente de correlación (r)=0.99.

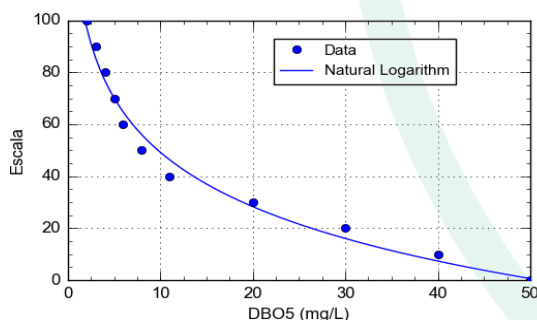


6.3.6.3. Subíndice materia orgánica y condiciones microbiológicas

Para la construcción de este subíndice se tuvieron en cuenta las variables de DBO₅ y coliformes totales. Se consideraron las categorías y valores de calificación en diferentes normas, referencias de autores y los ICA implementados en el embalse del Guajaro y la ciénaga El Rincón.

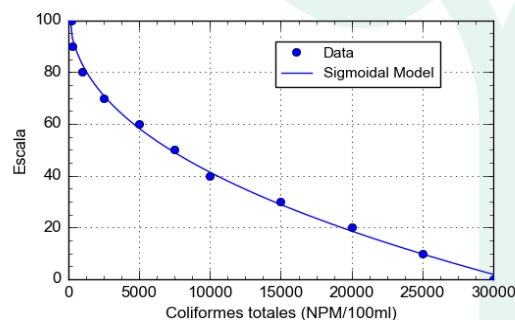
La ciénaga de Luruaco presenta valores promedios de DBO₅ de 4.27 (mg/L); categorizándola con calidad del agua buena. La DBO es un parámetro importante para evaluar la calidad del agua, se trata de la cantidad de oxígeno consumido por los organismos biológicos aeróbicos para oxidar compuestos orgánicos. Las aguas con alto DBO pueden causar una disminución en el oxígeno de las aguas, lo que a su vez puede causar la muerte de algunos organismos (Bendicho y Lavilla, 2019).

El valor promedio de coliformes totales fue de 586 NMP/100 ml y categoriza en buen estado la calidad del agua de la ciénaga de Luruaco. Las bacterias coliformes a menudo se consideran indicadores de contaminación fecal y por lo tanto bacterias patógenas. Aunque las bacterias coliformes a menudo se encuentran asociadas con patógenos entéricos, varias bacterias coliformes, como *Erwinia* y *Enterobacter*, a menudo forman parte de la flora natural de muchos vegetales y por lo general no indican un problema potencial de salud pública. Un subconjunto relacionado de coliformes, los coliformes fecales, a menudo indica la presencia de *Escherichia coli* en el agua; la presencia de este organismo puede ser un indicador de contaminación fecal y estar relacionada con la presencia de heces o un saneamiento e higiene deficientes (Brackett, 1993).



$$y = a + b \ln(x)$$

Gráfica 31. Curva de calidad para DBO₅. a= 1.18 b= -3.02. Coeficiente de correlación (r)=0.99.



$$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$$

Gráfica 32. Curva de calidad para coliformes totales. a= 9.99, b= 2.87, c= 1.22, d= -1.24 coeficiente de correlación (r)=0.99.



6.3.6.4. Subíndice contaminación residual

Para la construcción de este subíndice se tuvieron en cuenta las variables grasas-aceites y sustancias activas al azul de metileno -SAAM-; sin embargo, se debe tener en cuenta que estas variables no fueron detectables en la ciénaga de Luruaco o se encontraron debajo del valor de límite permisible (VLP)

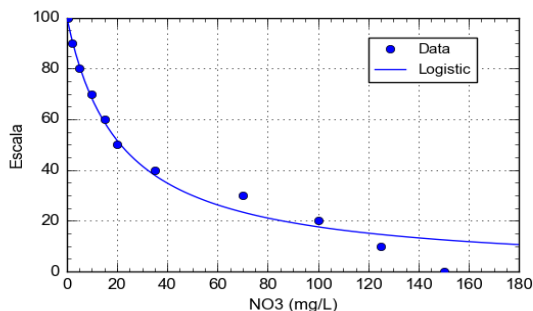
6.3.6.5. Subíndice productividad

Para la construcción de este subíndice se tuvieron en cuenta las variables Nitratos (NO_3), Fosfatos (PO_4) y Fitoplancton (densidad). La variable Fosfato (PO_4) se encontró debajo del valor de límite permisible (VLP); por tanto, los resultados de dicha variable en el ICA se igualaron a 100 (calidad muy buena).

Se utilizó la variable abundancia de fitoplancton, porque se ha demostrado que tiene relación con una variedad de factores ambientales en los ambientes acuáticos (Alprol et al., 2021). La abundancia, las comunidades, la biodiversidad, así como la estructura química y bioquímica del fitoplancton, se encuentran entre los problemas más importantes afectados por la calidad del agua (Zaghloul et al., 2020). El bajo flujo hidrológico, las descargas municipales, los efluentes de aguas residuales y otras actividades humanas podrían contribuir a la mala calidad del agua. Adicionalmente, el fitoplancton es la principal fuente de alimento para el zooplancton, que se considera un puente entre la producción primaria y los niveles tróficos superiores, y también es muy importante para monitorear la calidad y la contaminación del agua (Ashour et al., 2021).

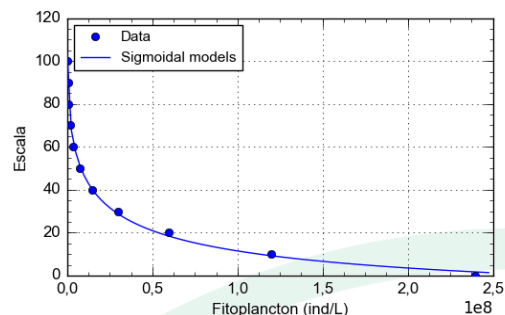
La ausencia de fosfato y bajos valores de nitrato que se reportaron solo en el punto de muestreo P3, indican que la ciénaga de Luruaco no se encuentra eutrofizada. La eutrofización es causada por un aumento de nutrientes en los ambientes acuáticos, principalmente nitrógeno y fósforo, lo que resulta en una mayor fotosíntesis y acumulación de materia orgánica (Alprol et al., 2021). Además, la eutrofización puede causar efectos negativos entre prácticamente todas las especies biológicas y sus interacciones dentro del humedal (Ashour et al., 2018).





$$y = a / (1 + be^{-cx})$$

Gráfica 33. Curva de calidad para el nitrato (NO3). a= -7.7, b= 1.00, c= -3.63. Coeficiente de correlación (r)=0.98.



$$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$$

Gráfica 34. Curva de calidad para el fitoplancton. a= 1.01, b= 1.47, c= 1.07, d= -2.9. Coeficiente de correlación (r)=0.99.

6.3.6.6. Índice de calidad del agua en la ciénaga de Luruaco

El índice de calidad del agua (ICA) en la ciénaga de Luruaco, indicó que el agua presenta calidad muy buena y buena. Los resultados de la calidad del agua en los puntos de muestreo 1, 4 y 5 es muy buena y se encuentra representada por color azul; sugiere que las condiciones son excepcionalmente favorables para el ecosistema y la sobrevivencia de los organismos que lo habitan. Los puntos de muestreo 2, 3, 6 y 7 presentaron calidad buena (color verde); indica que los niveles de contaminación son muy bajos y se cumple con las condiciones para la conservación de la fauna y la flora (**Tabla 52**).

El resultado del subíndice condiciones básicas del medio, indicó que el punto 7 la calidad del agua es regular (**Tabla 52**); lo cual describe que las condiciones son parcialmente favorables para la sobrevivencia de los organismos y puede que algunas variables excedan los límites de calidad o se encuentren en el límite de efectos crónicos adversos. Este punto de muestreo quedó dentro la categoría regular porque el valor de pH fue de 9.66; sin embargo, se atribuye a que cerca a la ciénaga hay minas de caliza, compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO₃). La mayoría de los cambios naturales de pH ocurren debido a las interacciones con la roca circundante (particularmente las formas de carbonato).



Tabla 52. Resultados del índice de calidad del agua en la ciénaga de Luruaco.

Puntos de muestreo	Subl metales	Subl Cond del Medio	Subl MO y Microbiol	Subl Cont Res	Subl Prod	ICA Luruaco
P1	96	67	87	100	84	83
P2	87	62	80	100	85	78
P3	96	67	68	100	85	77
P4	89	65	81	100	86	80
P5	89	64	81	100	86	80
P6	96	67	66	100	85	77
P7	96	58	84	100	85	79

Subl: subíndice.



7. CONCLUSIONES

○ Fitoplancton

El fitoplancton en la cienaga de Luruaco presentó un baja numero de morfoespecies (14), de ellas el 42.86% son Cianophytas, la riqueza osciló entre seis (6) morfoespecies en P3-P4 y 13 morfoespecies con 13 morfoespecies, la densidad fue alta con dominio de las ciabacterias en los puntos de muestreo, esta osciló entre 406700 ind/l (P5) y 624900 ind/L (P1), las morfoespecies del genero *Cylindrospermopsis* fueron las mas abundantes en los puntos de muestreo, las densidades registradas en la cienaga indica que este es un sitema hipereutrofico.

○ Zooplancton

En la ciénaga de Luruaco, la comunidad de zooplancton estuvo representada por diecisiete (17) morfoespecies, las cuales se encontraron distribuidas en tres (3) phyla. Las morfoespecies más representativas en la ciénaga fueron Larva Nauplio de Cyclopoida, *Brachionus havanaensis* y *Brachionus angularis*. El punto de muestreo de mayor densidad fue P3, seguido de P1. En cuanto a los grupos más representativos fueron Rotífera, seguido de Arthropoda, los cuales son representativos de sistemas lagunares de agua dulce. Los índices de dominancia y equidad indican que la comunidad se ensambla muy bien, al haber baja dominancia, y altos valores de equidad en cada uno de los puntos de monitoreo.

○ Perifiton

El perifiton en la cienaga presentó una estructura inestable con valores bajos de diversidad, la riqueza fue baja oscilando entre cinco (5) morfoespecies (P1) y 11 morfoespecies P2, de ellas el 72% Bacillariophytas, estas fueron dominantes en la densidad con el 94.65% de la densidad total, oscilando entre 639.90 Ind/cm² (P7) y 2664 Ind/cm² (P5). la morfoespecie *Nitzschia* sp1 fue la demaor abundancia en la mayoría de los puntos de muestreo. Las condiciones ambientales de la cienaga permiten que el perifiton colonizen los sustratos disponibles.

○ Macroinvertebrados bentónicos

La comunidad de Macroinvertebrados bentónicos de la ciénaga de Luruaco estuvo conformada por tres (3) morfoespecies, las más abundantes fue *Melanoides tuberculatus*; las mayores



densidades estuvieron relacionadas con el punto de monitoreo P2 y la mayor riqueza se observó en P5.

○ **Macrófitas**

No se reportaron morfoespecies de macrófitas en los puntos de monitoreo asociados a la ciénaga de Luruaco, por encontrarse bastante retirados de las orillas, además en la cienaga no se observaron macrofitas flotantes en parches.

○ **Peces**

Solo tres (3) especies icticas fueron reportadas en este cuerpo de agua: *Caquetaia kraussi*, *Mugiliza* y *Notarius bonillai*. Solo se reportaron capturas en los puntos P3 y P4, cuyas abundancias oscilaron entre 4 (cuatro) y 3 (tres) individuos respectivamente.

- El monitoreo de la calidad del agua es el paso inicial hacia la gestión y conservación de los ambientes acuáticos. Las variables estudiadas, tienen un impacto en la ciénaga de Luruaco, además de que influye o afecta en la inmigración de especies acuáticas, abundancia, estructura química, inmunidad, supervivencia y crecimiento.

- Los índices de calidad del agua (ICA) son herramientas importantes que pueden proporcionar información sobre la salud de los ecosistemas. La implementación del ICA en la ciénaga de Luruaco proporcionó una evaluación clara de este entorno, considerando que la calidad del agua se encuentra regular. Los resultados del ICA nos proporcionan información sobre los impactos humanos en este ecosistema, con el objetivo de brindar una mejor comprensión del tema a quienes buscan tomar decisiones de gestión



SERAMBIENTE S.A.S.
Barranquilla, Colombia
marzo de 2023

INFORME VÁLIDO ÚNICAMENTE PARA LA(S) MUESTRA(S) ANALIZADA(S). LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL PRESENTE INFORME DEBE HACERSE CON AUTORIZACIÓN EXPRESA DE SERAMBIENTE S.A.S. CUALQUIER TIPO DE OBSERVACIÓN REQUERIDA POR EL CLIENTE Y RELACIONADA CON LOS RESULTADOS EMITIDOS, SÓLO SERÁ ACEPTADA DENTRO DE LOS 4 DÍAS SIGUIENTES AL ENVÍO PARCIAL DE ESTE INFORME. SI NO SE RECIBE OBSERVACIÓN EN EL TIEMPO ESTABLECIDO, SE DA POR ACEPTADO EL INFORME Y SE PROCEDERÁ A SU IMPRESIÓN. FINALIZADO EL MONITOREO, LAS MUESTRAS SE CONSERVARÁN 10 DÍAS Y CUMPLIDO ESTE TÉRMINO EL LABORATORIO PROCEDERÁ A LA DISPOSICIÓN FINAL DE LAS MUESTRAS. EL CLIENTE SE HACE RESPONSABLE POR LA CONFIDENCIALIDAD DE LOS RESULTADOS CUANDO ESTOS SEAN ENVIADOS POR CORREO ELECTRÓNICO O FAX.



8. REFERENCIAS

- Abbasi, T., & Abbasi, S. 2012. Water Quality Indices; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands.
- Abrahão, R., Carvalho, M., da Silva Jr, W., Machado, T., Gadelha, C., & Hernandez, M. 2007. Use of index analysis to evaluate the water quality of a stream receiving industrial effluents. Water SA 33.
- Aguilera-Rodríguez, I., Pérez-Silva, R. M. y Marañón-Reyes, A. 2010. Determinación de sulfato por el método turbidimétrico en aguas y aguas residuales. Validación del método Revista Cubana de Química, vol. XXII, núm. 3, 2010, pp. 39-44.
- Akoteyon, I., Omotayo, A., Soladoye, O., & Olaoye, H. 2011. Determination of water quality index and suitability of urban river for municipal water supply in Lagos-Nigeria. Eur. J. Sci. Res. 54, 263–271.
- Alabaster, J. S. y Lloyd, R. 1982. Water Quality Criteria for Freshwater Fish. Butterworths, Londres, Inglaterra.
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. 2019. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. J. Chem. 2019, 6730305.
- Alprol, A.E., Heneash, A.M.M., Soliman, A.M., Ashour, M., Alsanie, W.F., Gaber, A., & Mansour, A.T. 2021. Assessment of Water Quality, Eutrophication, and Zooplankton Community in Lake Burullus, Egypt. Diversity, 13, 268.
- Alves, M. T. R., Teresa, F. B., & Nabout, J. C. 2014. A global scientific literature of research on water quality indices: trends, biases and future directions. *Acta Limnológica Brasiliensia*, 26(3), 245-253.



- ANZECC (Australian and New Zealand Environment Conservation Council). 2000. An introduction to the Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality. National Water Quality Management Strategy, Canberra, Australia.
- APHA-AWWA-WEF (2017) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23th Edition.
- Ashour, M., Abo-Taleb, H., Abou-Mahmoud, M., & El-Feky, M.M.M. 2018. Effect of the integration between plankton natural productivity and environmental assessment of irrigation water, El-Mahmoudia Canal, on aquaculture potential of *Oreochromis niloticus*. Turk. J. Fish. Aquat. Sci. 18, 1163–1175.
- Ashour, M., Alprol, A.E., Heneash, A.M.M., Saleh, H., Abualnaja, K.M., Alhashmialameer, D., & Mansour, A.T. 2021. Ammonia Bioremediation from Aquaculture Wastewater Effluents Using *Arthrospira platensis* NIOF17/003: Impact of Biodiesel Residue and Potential of Ammonia-Loaded Biomass as Rotifer Feed. Materials, 14, 5460.
- Bendicho, C., y Lavilla, I. 2019. Water Analysis | Sewage. In P. Worsfold, C. Poole, A. Townshend & M. Miró (Eds.), *Encyclopedia of Analytical Science (Third Edition)* (pp. 371-381). Academic Press.
- Boldyrev, M. 2018. Lead: Properties, history, and applications. Wiki J. Sci. 1, 1–23.
- Bordalo, A.A., Teixeira, R., & Wiebe, W.J. 2006. A water quality index applied to an international shared river basin: the case of the Douro River. Environ. Manag. 38, 910–920.
- Boyd, C. E., y Tucker, C. S. 1998. Pond aquaculture water quality management. Kluwer Academic Publishers.
- Brackett, R. E. 1993. CHAPTER 6 - MICROBIAL QUALITY. In R. L. Shewfelt, & S. E. Prussia (Eds.), Postharvest Handling (pp. 125-148). Academic Press.



- Brown, R.M., McClelland, N.I., Deininger, R.A., & O'Connor, & M.F. 1973. A water quality index- Crashing the psychological barrier. In Indicators of Environmental Quality; Springer: Boston, MA, USA. pp. 173–182. Cadavid, J. C., Echeverri, J., & Gómez, Aura. 2011. Modelación índices de calidad de agua (ica) en las cuencas de la región Cornare. Gestión y Ambiente, 13(2), 7.
- Castellanos, K., Pizarro, J., Cuentas, K., Costa, J.C., Pino, Z., Gutiérrez, L.C., Franco, O.L., & Arboleda, J.W. 2017. Lentic water quality characterization using macroinvertebrates as bioindicators: An adapted BMWP index. Ecological Indicators. 72: 53-66.
- Cirujano, S. 1995. Flora y vegetación de las lagunas y humedales de la provincia de Cuenca. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. CSIC. Real Jardín Botánico de Madrid. 224 pp.
- Codex Stand. 1995. Norma general del codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos. Recuperado de: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXS_193s.pdf.
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico C.R.A. 2019. Monitoreo fisicoquímico, microbiológico e hidrobiológico sobre la calidad y estado actual de los cuerpos de agua y las fuentes hídricas del departamento del Atlántico y la caracterización de los humedales Sabanagrande, Santo Tomás y Palmar de Varela en cumplimiento de lo establecido en el Plan de Acción Institucional 2016-2019. Tomo II. Barranquilla.
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico C.R.A. 2020. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de agua superficial. Informe técnico de estudio de caracterización de agua superficial. Barranquilla.
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico C.R.A. 2021. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de agua superficial. Informe técnico de estudio de caracterización de agua superficial. Barranquilla.
- Cude, C.G. 2001. Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness. J. Am. Water Resour. Assoc.



- Dinius, S. 1972. Social accounting system for evaluating water resources. Water Resour. Res. 8, 1159–1177.
- Dinius, S.H. 1987. Design of an index of water quality. J. Am. Water Resour. Assoc. 23, 833–843.
- Dixit, S. S., Smol. J. P., Kingston, J. C., Charles, D. F. 1992 Diatoms: Powerful indicators of environmental change. Environ Sci Technol. 26:23–33.
- Eisler. 1993. “Zinc Hazard to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A Synoptic Review,” Contaminant Hazard Reviews, Departamento del Interior de EE. UU., Servicio de Pesca y Vida Silvestre, Laurel.
- EPA. 2022. Indicators: Dissolved Oxygen. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- EPA. 2023. pH. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Espinoza, C. (2005). Calidad del agua y contaminación de agua subterránea. Chile: Hidráulica de aguas subterráneas y su aprovechamiento.
- Fataei, E., Seyyedsharifi, A., Seiedsafaviyan, T., & Nasrollahzadeh, S. 2013. Water quality assessment based on WQI and CWQI Indexes in Balikhlu River, Iran. J. Basic Appl. Sci. Res. 3, 263–269.
- Fiori, M.C. 2010. Contaminación del agua: Estudio de la percepción del riesgo en Pearson (Provincia de Buenos Aires) [Tesis]. Buenos Aires: Facultad de Buenos Aires (UBA).
- Hairston, N.G., Jr. 1996. Zooplankton egg banks as biotic reservoirs in changing environments. Limnology and Oceanography 41: 1087-1092.



- Hamlat, A., Tidjani, A.E.B., Yebdri, D., Errih, M., & Guidoum, A. 2014. Water quality analysis of reservoirs within Western Algeria catchment areas using water quality index CCME WQI. J. Water Supply Res. Technol. Aqua. 63, 311–324.
- Hernández-Pitalúa, D., Hernández-Orduña, M.G., Martínez-Escalante, G.A., & Lagunes-Gómez, I. 2022. Influence of Lead (Pb) and Its Relationship with the pH of Water on the Growth of Creole Maize (*Zea mays* L.). Agriculture, 12, 749.
- Hinga, K. R. 2002. Effects of pH on coastal marine phytoplankton. Marine Ecology. Progress Series (Halstenbek). 238, 281-300.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. 2013. Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM 11 p.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B., & Beeregowda, K.N. 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Interdiscip. Toxicol. 7, 60–72.
- Kachroud, M., Trolard, F., Kefi, M., Jebari, S., & Bourrié, G. 2019. Water Quality Indices: Challenges and Application Limits in the Literature. Water, 11(2), 361.
- Khan, A.A., Tobin, A., Paterson, R., Khan, H., & Warren, R. 2005. Application of CCME procedures for deriving site-specific water quality guidelines for the CCME Water Quality Index. Water Qual. Res. J. Can. 40, 448–456.
- Lee, B., Kang, H., Oh, H., Ahn, J., Yun, S., & Kim, S. 2022. Destratification of a Eutrophic Reservoir in South Korea Using a Novel Convectional Water Circulation System (CWCS). Water (Basel), 14(8), 1282
- López C, Bello C (1993) Composición y variación estacional de la comunidad de crustáceos planctónicos del embalse Socuy, Venezuela. Ecotropicos 6: 29-42



- Losada , L. C., Rueda, C. A., & Martínez, P. 2020. Evaluación de la calidad del agua en el embalse hidroeléctrico El Quimbo. *Entre Ciencia E Ingeniería*, 14(27), 107-116.
- Lumb, A., Halliwell, D., & Sharma, T. 2006. Application of CCME Water Quality Index to monitor water quality: A case study of the Mackenzie River basin, Canada. *Environ. Monit. Assess.* 113, 411–429.
- Margalef, R. (1983). *Limnología* (Vol. 1009). Barcelona: Omega.
- Matsumura-Tundisi, T., & Tundisi, J. G. (2005). Plankton richness in a eutrophic reservoir (Barra Bonita Reservoir, SP, Brazil). *Hydrobiologia*, 542(1), 367-378.
- Montoya, H., Contreras, C., & García, V. 1997. Estudio integral de la calidad del agua en el estado de Jalisco. Com. Nal, Agua., Geren. Reg. Lermasantiago. Guadalajara. 106 pp.
- Moreno, M., Bonilla, M. A., Guillot, G., & Torregroza-Espinosa, A. C. 2022. Distribution of *Miathyria marcella* larvae (Odonata: Libellulidae) and water quality of wetlands in Northern Colombia. *Journal of Freshwater Ecology*, 37(1), 569-581.
- Morillo, L. D., Naranjo, D. A., Pérez, J., Villacis, W., Vargas, P., & Muñoz, F. 2019. Remoción de tensoactivos y coliformes en aguas residuales domésticas mediante procesos fenton. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 35 (4) 931-943.
- Orjuela L. C., & López M. O. 2013. Hoja metodológica del indicador Índice de alteración potencial de la calidad del agua (Versión 1,0). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. 14p.
- Orozco, C., Pérez, A., González, M., Rodríguez, F. y Alfayate, J. 2005. Contaminación ambiental. Una visión desde la química. Ed. Thomson, España. pp. 631-650.



- PAGGI, J., & S. JOSÉ DE PAGGI. 1990. Zooplankton de ambientes lóticos e lénticos do río Paraná. Acta Limnol. Brasil. 3: 685–719.
- Parmar, K., & Parmar, V. 2010. Evaluation of water quality index for drinking purposes of river Subernarekha in Singhbhum District. Int. J. Environ. Sci. 1, 77.
- Patiño, P., Holguín, J., Barba Ho, L., Cruz, C., Ramírez, C., Duque, A., & Baena, L. 2002. Metodología para la adaptación de un índice de calidad de agua a las condiciones medioambientales del río cauca en el tramo salvajina-la virginia.
- Perkins, J. L. (1983). Bioassay evaluation of diversity and community comparison indexes. Journal (Water Pollution Control Federation), 522-530.
- Pesce, S.F., & Wunderlin, D.A. 2000. Use of water quality indices to verify the impact of Cordoba City (Argentina) on Suquia River. Water Res. 34, 2915–2926. Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, Y. G. 1997. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. C T & F : ciencia, tecnología y futuro. (3), 135-153.
- Ramírez, A., y Viña, G. 1998. Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Bogotá, Colombia: Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible. Decreto 1076 de 2015. “Por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.
- Rincón, T., Salinas, E., y Gil, J.A. 2022. Tratamiento de grasas y aceites por medio de bacterias lipolíticas en aguas residuales de industria metalmecánica. Publicaciones e Investigación, 16(1).SA
- Rodríguez-Zamora, J. 2009. Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre del 2008. Revista Pensamiento Actual, Universidad de Costa Rica Vol. 9, No. 12-13.



- Roldan, G. 1992.- Fundamentos de Limnología Neotropical. Colección Ciencia y Tecnología Universidad de Antioquia. Medellín. Vol. 1. p. 128.
- Roldán, G. y Ramírez, J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Sahoo, M.M., Patra, K., & Khatua, K. 2015. Inference of Water Quality Index Using ANFIA and PCA. *Aquat. Procedia*, 4, 1099–1106.
- Said, A., Stevens, D.K., & Sehlke, G. 2004. An Innovative Index for Evaluating Water Quality in Streams. *Environ Manag.* 34, 406–414.
- Sedeño-Díaz, J.E., & López-López, E. 2007. Water quality in the Río Lerma, Mexico: An overview of the last quarter of the twentieth century. *Water Resour. Manag.* 21, 1797–1812.
- Shokuhi, R., Hosinzadeh, E., Roshanaei, G., Alipour, & M., Hoseinzadeh, S. 2012. Evaluation of Aydughmush dam reservoir water quality by National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF-WQI) and water quality parameter changes. *Iran. J. Health Environ.* 4, 439–450.
- Singh, D. 1992. Studies on the water quality index of some major rivers of Pune, Maharashtra. *Proc. Acad. Environ. Biol.* 1, 61–66.
- Sladeczek, V. 1983. Rotifers as indicators of water quality. *Hydrobiologia* 100: 169-171.
- Soltan, M. 1999. Evaluation of ground water quality in dakhla oasis (Egyptian Western Desert). *Environ. Monit. Assess.* 57, 157–168.
- Stumm, W. y Morgan, J. J. 1996. *Aquatic Chemistry*. Wiley, Nueva York, Nueva York, EEUU.
- Takarina, N. D., Wardhana, W., & Soedjiarti, T. 2017. Impact of oxygen depletion on planktonic community with emphasis temperature dynamics at aquaculture scale in Blanakan, West Java. *AIP Conference Proceedings*. 1848(1): 1-6.



- Tanjung, R., Fahrudin, F., & Samawi, M. 2019. Phytoremediation relationship of lead (Pb) by *Eichhornia crassipes* on pH, BOD and COD in groundwater. J. Phys. Conf. Ser. 1341, 022020.
- Unión Europea. 2016. Contenidos máximos en metales pesados en productos alimenticios. Recuperado de: <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf>
- Viet, N. D., Bac, N. A., & Huong, H. T. 2016. Dissolved oxygen as an indicator for eutrophication in freshwater lakes. Proceedings of International Conference on Environmental Engineering and Management for Sustainable Development, Hanoi.
- Wetzel, J. 2001. A production method for freshwater prawn in Illinois Ponds. Rural Enterprise and Alternative Development Initiative Report. Report, 10, 1-13.
- Wills, M., & Irvine, K.N. 1996. Application of the national sanitation foundation water quality index in Cazenovia Creek, NY, pilot watershed management project. Middle States Geogr. 96, 95–104.
- Zaghloul, F.A.-R., Khairy, H.M., & Hussein, N.R. 2020. Assessment of phytoplankton community structure and water quality in the Eastern Harbor of Alexandria, Egypt. Egypt. J. Aquat. Res. 46, 145–151.
- Zúñiga, Ó. O., Cobas, G. G., Rivera, J. G., & Hernández, K. T. 2016. Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima (Ibagué, Colombia). Ingeniería Solidaria, 18.
- Zúñiga, Ó. O., Cobas, G. G., Rivera, J. G., y Hernández, K. T. 2016. Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima (Ibagué, Colombia). Ingeniería Solidaria, 18.



9. ANEXOS

A continuación, en la **Tabla 53** se presentan los anexos del informe técnico.

Tabla 53. Anexos del informe técnico

Anexo	Laboratorio	Archivos	Páginas
Anexo 1. Reporte de laboratorio	SERAMBIENTE S.A.S	Reporte SERAMBIENTE S.A.S	3
		Reporte SERAMBIENTE S.A.S (B)	25
	SGS COLOMBIA S.A.S	Reporte SGS COLOMBIA S.A.S	7
	HIDROLAB LTDA	Reporte HIDROLAB LTDA	7
	CISLAB TIP	Reorte CISLAB	2
	LIMA S.A.S	Reporte LIMA S.A.S	3
	CHEMILAB	Reporte CHEMILAB	
Anexo2. Formatos de campo	SERAMBIENTE S.A.S	Formatos_campo	6
		Formatos_campo (B)	9
		Plan de monitoreo	4
		Cadena de custodia	
		Cadena_custodia (B)	1
Anexo 3. Resolución de Acreditación del IDEAM	SERAMBIENTE S.A.S.	Resolución 1169 de 2022	9
	SGS COLOMBIA S.A.S	Resolución 0790 de 2022	21
	HIDROLAB LTDA	Resolución 0238 de 2021	11
	CISLAB TIP	Resolución 0780 de 2022	14
	LIMA S.A.S	Resolución 1445 de 2022	11
	CHEMILAB	Resolución 1618 de 2021	25
Anexo 4. Graficas de curvas de calidad Curvas de calidat ecuaciones de los subíndices del ICacc			

(B): Biota

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, 2022.

(FIN DEL INFORME)

