



# **INFORME TÉCNICO DE ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL Y COMUNIDADES HIDROBIOLÓGICAS**

## **CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO- C.R.A.**

***Estudio de caracterización fisicoquímica, microbiológica e hidrobiológica de agua superficial ejecutado el día 25 de julio de 2023.***

**BARRANQUILLA, ATLÁNTICO  
DICIEMBRE, 2023**





## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
<b>2. CONDICIONES GENERALES .....</b>	<b>13</b>
2.1 NORMATIVA APLICABLE .....	13
2.2 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA .....	13
2.3 RESPONSABLES DEL INFORME.....	14
2.4 EMPRESA RESPONSABLE DEL ESTUDIO.....	14
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>17</b>
3.1 CARACTERÍSTICAS DEL MUESTREO.....	17
3.2 REGLA DE DECISIÓN Y DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD .....	19
3.2.1 Incertidumbre del resultado ( $U\pm$ ).....	20
3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	21
3.4 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO .....	22
3.5 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	26
3.5.1 Etapa de campo.....	26
3.5.2 Etapa de laboratorio.....	31
3.6 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	34
3.7 DISEÑO DEL ÍNDICE DE CALIDAD.....	37
3.7.1 Selección de variables.....	38
3.7.2 Establecimiento de la escala de calidad.....	43
3.7.3 Validación.....	43
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>44</b>
4.1 RESULTADOS DE CAMPO.....	44
4.2 RESULTADOS DE LABORATORIO.....	50
4.3 HIDROBIOLÓGICOS .....	64





4.3.1	Fitoplancton .....	64
4.3.2	Zooplancton .....	73
4.3.3	Perifiton .....	80
4.3.4	Macroinvertebrados bentónicos.....	81
4.3.5	Macrófitas acuáticas.....	86
4.3.6	Peces.....	87
4.4	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS CIENAGA EL CONVENTO .....	88
4.4.1	Selección de parámetros.....	88
4.4.2	Variables fisicoquímicas, microbiológicas, metales pesados, pesticidas organoclorados y organofosforados .....	94
4.4.3	Relación entre las variables abióticas con el fitoplancton y zooplancton.....	98
4.4.4	Construcción del índice y curvas de calidad.....	105
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>118</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>121</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>138</b>
<b>8.</b>	<b>HISTÓRICOS DE CAMBIOS.....</b>	<b>139</b>





## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Empresas responsables de los análisis de muestras. ....	15
Tabla 2. Identificación de las muestras. ....	16
Tabla 3. Equipos y métodos analíticos para la medición del parámetro <i>In situ</i> . ....	18
Tabla 4. Método empleado para el análisis de la muestra. ....	18
Tabla 5. Descripción de los puntos de monitoreo ubicados en el área de estudio. ....	21
Tabla 6. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo. ....	24
Tabla 7. Listado de los métodos empleados para la toma de muestra. ....	26
Tabla 8. Listado de los métodos empleados para el análisis de las muestras. ....	31
Tabla 9. Índices ecológicos. ....	34
Tabla 10. Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col. ...	36
Tabla 11. Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col. y ASPT, Significado y colores para representaciones cartográficas. ....	37
Tabla 12. Clasificación de la calidad del agua. ....	41
Tabla 13. Resultados de parámetros medidos en campo. ....	44
Tabla 14. Resultados de campo VS Decreto 1076 de 2015. ....	45
Tabla 15. Resultados de laboratorio. ....	50
Tabla 16. Clasificación taxonómica de las morfoespecies fitoplanctónicas observadas en la ciénaga El Convento. ....	64
Tabla 17. Densidad (Ind/L) de las morfoespecies de fitoplancton en la Ciénaga Convento. ....	66
Tabla 18. Abundancia relativa (%) de las morfoespecies de fitoplancton en la Ciénaga Convento. ....	66
Tabla 19. Índices ecológicos aplicados a la comunidad fitoplanctónica. ....	71
Tabla 20. Registro fotográfico de algunas de las morfoespecies observadas. ....	72
Tabla 21. Clasificación taxonómica de las morfoespecies de zooplancton observadas en la ciénaga El convento. ....	73





Tabla 22. Densidad (Ind/L) de las morfoespecies de Zooplancton en la ciénaga El Convento. ....	74
Tabla 23. Abundancia relativa (%) de las morfoespecies de Zooplancton en la ciénaga el Convento. .....	74
Tabla 24. Índices ecológicos aplicados a la comunidad de zooplancton en la ciénaga El Convento. .....	78
Tabla 25. Registro fotográfico de algunas de las morfoespecies observadas. ....	78
Tabla 26. Clasificación de las morfoespecies de macroinvertebrados bentónicos observadas en la ciénaga El Convento. ....	81
Tabla 27. Densidad (Ind/m <sup>2</sup> ) de las morfoespecies de Macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga El Convento. ....	82
Tabla 28. Abundancia relativa (%) de las morfoespecies de Macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga El Convento. ....	82
Tabla 29. 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. ....	88
Tabla 30. Variables usadas con más frecuencia en los Índices de Calidad de Agua, según la revisión de los ICA en la literatura. ....	90
Tabla 31. Normas de calidad de agua revisadas. Se indica con * las Normas que se utilizaron para estimar las variables que se usan con más frecuencia. ....	91
Tabla 32. Parámetros mayormente controlados en la normativa nacional e internacional de calidad de aguas y frecuencia de aparición en las mismas. ....	93
Tabla 33. Variables fisicoquímicas, microbiológicas, metales pesados, pesticidas organoclorados y organofosforados en la ciénaga El Convento. ....	94
Tabla 34. Eigenvalores y porcentaje de varianza del análisis de componentes principales (ACP). .....	96
Tabla 35. 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. ....	98
Tabla 36. 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. ....	99





Tabla 37. Variables seleccionadas para el análisis de correlación de Pearson a partir de los análisis de ACP y ACC. ....	101
Tabla 38. Matriz de correlación de Pearson entre las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas. ....	102
Tabla 39. Variables seleccionadas en el criterio estadístico. ....	104
Tabla 40. Consolidado de variables y agrupación de acuerdo con el criterio relacionado. ....	104
Tabla 41. Categoría de calidad de agua y su correspondiente escala de valor y color. ....	105
Tabla 42. Resultados del índice de calidad del agua en la Ciénaga El Convento. ....	117
Tabla 43. Anexos del informe técnico. ....	138
Tabla 44. Históricos de cambios. ....	139





## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Ciénaga de convento P1 .....	22
Fotografía 2. Ciénaga de convento P2 .....	22
Fotografía 3. Ciénaga de convento P3 .....	22
Fotografía 4. Ciénaga de convento P4 .....	22
Fotografía 5. Ciénaga de convento P5 .....	22
Fotografía 6. Ciénaga de convento P6 .....	22
Fotografía 7. Toma de muestra para fitoplancton .....	27
Fotografía 8. Toma de muestra para zooplancton .....	28
Fotografía 9. Toma de muestra para macroinvertebrados bentónicos .....	29
Fotografía 10. Toma de muestra para macrófitas acuáticas .....	30
Fotografía 11. Toma de muestra para peces .....	31





## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Declaración binaria con la regla de aceptación simple .....	20
Figura 2. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo .....	25





## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Temperatura registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023.....	46
Gráfica 2. pH registrado en la ciénaga El Convento en julio de 2023.....	47
Gráfica 3. Conductividad eléctrica registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023.....	48
Gráfica 4. Oxígeno disuelto registrado en la ciénaga El Convento en julio de 2023. ....	49
Gráfica 5. SST registrado en la ciénaga El Convento en julio de 2023. ....	52
Gráfica 6. SDT registrado en la ciénaga El Convento en julio de 2023. ....	53
Gráfica 7. Transparencia registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023. ....	54
Gráfica 8. DBO <sub>5</sub> registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023. ....	55
Gráfica 9. DQO registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023. ....	55
Gráfica 10. Fosfato registrado en la ciénaga El Convento en julio de 2023. ....	57
Gráfica 11. Fósforo total registrado en la ciénaga El Convento en julio de 2023. ....	57
Gráfica 12. Dureza cálcica registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023. ....	58
Gráfica 13. Dureza total registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023. ....	59
Gráfica 14. Mercurio total registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023. ....	61
Gráfica 15. Zinc total registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023. ....	61
Gráfica 16. Coliformes totales registrados en la ciénaga El Convento en julio de 2023. ....	62
Gráfica 17. Coliformes termotolerantes registrados en la ciénaga El Convento en julio de 2023. .....	63
Gráfica 18. Pseudomona Aeruginosa registrado en la ciénaga El Convento en julio de 2023.....	63
Gráfica 19. Densidad (Ind/L) y Riqueza (No. morfoespecies) de la comunidad fitoplanctónica en la Ciénaga Convento. ....	68
Gráfica 20. Contribución porcentual a la densidad total de las divisiones fitoplanctónicas registrados en la Ciénaga Convento. ....	69
Gráfica 21. Contribución a la densidad total de las divisiones fitoplanctónicas registradas en la Ciénaga Convento por punto de monitoreo.....	70





Gráfica 22. Densidad (Ind/L) y Riqueza (No. Morfoespecies) de la comunidad de zooplancton en la ciénaga el Convento.....	75
Gráfica 23. Contribución porcentual de la densidad total de los phylum zooplanctónicos en la ciénaga El Convento. ....	76
Gráfica 24. Contribución a la densidad total de los phyla en los puntos de monitoreo en la ciénaga el Convento. ....	77
Gráfica 25. Densidad (Ind/m <sup>2</sup> ) y Riqueza (No. Morfoespecies) de la comunidad de Macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga El Convento. ....	83
Gráfica 26. Contribución porcentual de las clases de Macroinvertebrados bentónicos a la densidad total en la ciénaga El Convento. ....	84
Gráfica 27. Contribución l de las clases de Macroinvertebrados bentónicos a la densidad total por punto de monitoreo en la ciénaga El Convento. ....	85
Gráfica 28. Análisis de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas en la ciénaga El Convento. ....	96
Gráfica 29. Correlación de las variables fisicoquímicas en el Componente Principal 1. ....	97
Gráfica 30. Correlación de las variables fisicoquímicas en el Componente Principal 2. ....	97
Gráfica 31. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) en 6 puntos de muestreos de la ciénaga El Convento. Las variables fisicoquímicas están representadas en color azul, los puntos de muestreos en puntos de color negro y las variables bióticas en puntos azules. ....	99
Gráfica 32. Matrix de correlación de Pearson entre las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas (p-value > 0.05 marcados con X).....	103
Gráfica 33. Curva de calidad para el OD. a= 1.3 b= 2.46, c= -4.06, d= 5.3. Coeficiente de correlación (r)=0.99. ....	113
Gráfica 34. Curva de calidad para el pH. a= 4.66 b= -4.8. Coeficiente de correlación (r)=0.88. .113	
Gráfica 35.. Curva de calidad para SST. a= 1.1 b= -9.1, c= 4.7, d= -1.1. Coeficiente de correlación (r)=0.99.....	114
Gráfica 36.. Curva de calidad para DBO5. a= 1.18 b= -3.02. Coeficiente de correlación (r)=0.99. ....	115





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

OT 8933-3-4-A-7038-  
B-1357

Versión: 00

Página 11 de 139

Gráfica 37.. Curva de calidad para coliformes totales.  $a= 9.99$ ,  $b= 2.87$ ,  $c= 1.22$ ,  $d= -1.24$   
coeficiente de correlación  $(r)=0.99$ . .....115

Gráfica 38.. Curva de calidad para grasas y aceites.  $a= 1.05$   $b= -1.64$ . Coeficiente de correlación  
 $(r)=0.84$ . .....116

Gráfica 39.. Curva de calidad para SAAM.  $a= 1.00$ ,  $b= -9.85$ ,  $c= 2.40$ . Coeficiente de correlación  
 $(r)=0.92$ . .....116

Gráfica 40.. Curva de calidad para el Fosfatos ( $PO_4$ ).  $a= -9.05$ ,  $b= 3.16$ ,  $c= -8.64$ . Coeficiente de  
correlación  $(r)=0.97$ . .....117





# 1. OBJETIVOS

## 1.1 Objetivo general

Realizar la evaluación de la calidad fisicoquímica, microbiológica e hidrobiológica de agua superficial en seis (6) puntos de monitoreo, ubicados en la ciudad de Barranquilla, departamento del Atlántico, a fin de dar cumplimiento al programa de seguimiento y monitoreo de la compañía.

## 1.2 Objetivos específicos

- Realizar ensayos fisicoquímicos, microbiológicos e hidrobiológicos en seis (6) puntos de agua superficial, lo anterior, por medio de mediciones *In situ* y toma de muestras para analizar en laboratorio.
- Determinar la calidad del recurso hídrico por medio de los cálculos de ICO's.
- Verificar el cumplimiento de la normatividad ambiental legal vigente, Decreto 1076 de 2015, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).
- Caracterizar la composición de las comunidades hidrobiológicas (fitoplancton, zooplancton, perifiton, macroinvertebrados bentónicos, macrófitas acuáticas y peces) en seis (6) puntos de monitoreo seleccionados del área de estudio.
- Estimar la densidad de las comunidades hidrobiológicas en el área de estudio y cuantificar la diversidad y calidad del hábitat por medio de los índices de diversidad más comunes.
- Preparar un informe técnico, en el que se presentan los resultados y conclusiones de la evaluación efectuada durante el periodo de monitoreo.





## 2. CONDICIONES GENERALES

### 2.1 Normativa aplicable

Desde el punto de vista normativo, las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua superficial se comparan con los valores regulados en el Decreto 1594 de 1984 (ahora compilado en el Decreto 1076 de 2015), donde se establecen los criterios de calidad admisibles para destinar el recurso en preservación de flora y fauna. Cabe resaltar que se tienen en cuenta las modificaciones realizadas por el Decreto 703 de 2018. Adicionalmente, se establece comparaciones con la Resolución 0000449 de 2021 “por la cual se establecen los objetivos de calidad para los cuerpos de agua de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico a corto, mediano y largo plazo”.

Dentro de la legislación colombiana, no existe una normativa de referencia que regule específicamente los resultados hidrobiológicos. El análisis de las diferentes comunidades se hizo tomando en cuenta aspectos como riqueza, abundancia y estructura, este último referido al cálculo de los índices ecológicos, estableciendo además la posible condición bioindicadora de los diferentes grupos y su relación con el aspecto fisicoquímico.

### 2.2 Información de la empresa

**Razón social:** **CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL  
ATLÁNTICO- CRA.**

**Correo contacto ambiental:** rcotamo@crautonomia.gov.co

**Departamento:** Atlántico

**Municipio:** Barranquilla

**Actividad económica:** Ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, así como dar cumplida y oportuna aplicación a las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento conforme a las regulaciones, pautas





y directrices expedidas por el ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

## 2.3 Responsables del informe

**Elaboró:**

María Carolina Muñoz Pacheco

**Elaboró:**

Juana Carolina Peralta Rodgers

**Revisó:**

Ana Milena Ariza Blanco

**Revisó:**

María Angélica Oviedo Prasca

**Aprobó:**

Ana Milena Ariza Blanco

**Aprobó:**

María José Silva Mejía

## 2.4 Empresa responsable del estudio

**CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DEL ATLANTICO C.R.A.**, contrató los servicios de **Servicios de Ingeniería y Ambiente S.A.S. - SERAMBIENTE S.A.S.**, para desarrollar el estudio de caracterización de comunidades hidrobiológicas en las ciénagas del departamento del Atlántico. SERAMBIENTE S.A.S., es una empresa acreditada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia -IDEAM, a través de la Resolución 2577 de 2022, vigente hasta el 19 de junio de 2023<sup>1</sup> 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 laboratorio responsable de cada uno de los análisis de la

<sup>1</sup> La presente resolución se encuentra vigente hasta tanto no se emita una nueva resolución de acreditación por parte del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, lo anteriormente indicado se encuentra soportado bajo Radicado No.: 20246010004991 del 1 de febrero de 2024.





muestra y su respectiva resolución de acreditación ante el IDEAM se detalla en la **Tabla 1**.

**Tabla 1. Empresas responsables de los análisis de muestras.**

Laboratorio	Parámetro	Resolución de acreditación
SERAMBIENTE S.A.S.	Arsenico total	Resolución 2577 de 2022
	Cadmio total	
	Cobre total	
	Coliformes termotolerantes	
	Coliformes totales	
	Conductividad eléctrica	
	Cromo total	
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	
	Detergentes (SAAM)	
	Dureza cálcica	
	Dureza total	
	Fósforo reactivo total (Fosfato)	
	Fósforo total	
	Grasas y aceites	
	Hidrocarburos	
	Mercurio total	
	Nitratos-Cl	
	Nitritos	
	Nitrógeno amoniacal	
	Oxígeno disuelto	
	pH	
	Plomo total	
	Sólidos Disueltos Totales (SDT)	
Sólidos Suspendidos Totales (SST)		
Sulfatos-Cl		
Sulfuros		
Temperatura		
Transparencia		
Zinc total		
CHEMICAL LABORATORY S.A.S.	Clorofila A	Resolución 2234 de 2022
	Plaguicidas Organoclorados	
	Plaguicidas Organofosforados	
HIDROLAB	Pseudomona Aeruginosa	Resolución 2242 de 2022
<b>Hidrobiológicos</b>		
SERAMBIENTE S.A.S.	Zooplancton	Resolución 2577 de 2022
	Fitoplancton	
	Macrófitas acuáticas	
	Macroinvertebrados Bentónicos	





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

OT 8933-3-4-A-7038-  
B-1357

Versión: 00

Página 16 de 139

Laboratorio	Parámetro	Resolución de acreditación
	Perifiton	
	Peces	

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., CHEMICAL LABORATORY S.A.S. e HIDROLAB, 2023.

Asimismo, la **Tabla 2**, contiene los números de identificación asignados por el laboratorio de SERAMBIENTE S.A.S., así como también, el número de reporte asociado y la fecha de la toma de las muestras. Se resalta, que estas identificaciones, permiten correlacionar la información de los reportes de resultados entregados por cada uno de los laboratorios aliados.

**Tabla 2. Identificación de las muestras.**

Sitio de muestreo		Ciénaga el Convento	
Tipo de estudio		Estudio de caracterización de agua superficial y comunidades hidrobiológicas	
Identificación de la muestra	Número de reporte	Fecha	Punto
206209 (A) 206268 (B)	16224 (A)	25/07/2023	Ciénaga de convento P1
206210 (A) 206269 (B)			Ciénaga de convento P2
206211 (A) 206270 (B)			Ciénaga de convento P3
206212 (A) 206271 (B)			Ciénaga de convento P4
206213 (A) 206272 (B)			Ciénaga de convento P5
206214 (A) 206273 (B)			Ciénaga de convento P6

(A): Agua superficial; (B): Comunidad hidrobiológicas

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



**SERambiente**<sup>®</sup>  
Servicios de Ingeniería Ambiental

part of  
**ALS Limited**



## 3. METODOLOGÍA

### 3.1 Características del muestreo

El muestreo se realizó según los requerimientos de la **CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO-C.R.A.**, los cuales fueron realizar la toma de muestra de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e hidrobiológicos (fitoplancton, zooplancton, perifiton, macroinvertebrados bentónicos, macrófitas acuáticas y peces) en seis (6) puntos de muestreo, ubicados en la Ciénaga el convento en la ciudad de Barranquilla, departamento del Atlántico, con el fin de dar cumplimiento de lo establecido en el Plan de Acción Institucional 2020 - 2023.

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, 2017).

Se realizó la toma de muestras el día 25 de julio de 2023, implementando la metodología descrita en los procedimientos internos de SERAMBIENTE S.A.S., *PO-PSM-01 Planeación y ejecución del servicio* y *PO-PSM-45 Muestreo de aguas*. El muestreo fue de tipo "manual" y la toma de muestras se realizó de manera integrada, tomando muestras a tres (3) profundidades. 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.





El monitoreo se realizó siguiendo lo establecido en los procedimientos internos de SERAMBIENTE S.A.S. para monitoreo de comunidades hidrobiológicas *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 de captura 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 macrófitas.*

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 *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*, se presentan los equipos empleados para la medición de dichos parámetros, así como los métodos analíticos empleados y el límite de cuantificación de estos.

**Tabla 3. Equipos y métodos analíticos para la medición del parámetro *In situ*.**

Parámetro	Unidad	Equipo utilizado	Método analítico	Límite de cuantificación del método
pH	Unidades de pH	Multiparámetro AZ Instruments Corp.	SM 4500H <sup>+</sup> B	NA
Oxígeno disuelto	mg/L		ASTM 888-18, B	NA
Temperatura	°C		SM 2550 B	NA
Conductividad eléctrica	µS/cm		SM 2510 B	NA
Transparencia	cm	Disco de Sechi	NA	NA

NA: No Aplica.

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

Finalmente, es importante mencionar los métodos empleados y los límites de cuantificación para el análisis físicoquímico y microbiológico de las muestras se describen en la **Tabla 4**.

**Tabla 4. Método empleado para el análisis de la muestra.**

Parámetros	Unidades	Método analítico	Límite de cuantificación
Clorofila A	mg/m <sup>3</sup> Clorofila a	SM 10200 H	0,200





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

OT 8933-3-4-A-7038-  
B-1357

Versión: 00

Página 19 de 139

Parámetros	Unidades	Método analítico	Límite de cuantificación
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SM 5210 B	2
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SM 5220 D	10
Detergentes (SAAM)	mg SAAM/L	SM 5540 C	0,4
Dureza Cálrica	mg CaCO <sub>3</sub> /L	SM 3500 Ca B	4
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	SM 2340 C	2
Fósforo Reactivo Total (Fosfato)	mg P-PO <sub>4</sub> /L	SM 4500 P E	0,05
Fósforo Total	mg P/L	S M 4500 P B E	0,05
Grasas y aceites	mg/L	SM 5520 B	0,2
Hidrocarburos	mg HT/L	SM 5520 B F	0,2
Nitratos-Cl	mg N-NO <sub>3</sub> -/L	EPA 300.0 Modificado. Rev. 2.1. Agosto 1993.	0,3
Nitritos	mg N-NO <sub>2</sub> -/L	SM 4500 NO <sub>2</sub> B	0,005
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH <sub>3</sub> /L	SM 4500 NH <sub>3</sub> B C	0,2
Plaguicidas Organoclorados	mg/L	EPA 3535 A/EPA 8081B	0,00004
Plaguicidas Organofosforados	mg/L	EPA 3535A - EPA 8141 B	0,0004
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L	SM 2540 C	5
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	SM 2540 D	5
Sulfatos-Cl	mg SO <sub>4</sub> =/L	EPA 300.0 Modificado. Rev. 2.1. Agosto 1993	5
Sulfuros	mg S <sub>2</sub> -/L	SM 4500 S <sub>2</sub> F	0,85
<b>Microbiológicos</b>			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	SM 9221 F-2	1,8
Coliformes Totales	NMP/100 mL	SM 9221 B	1,8
Pseudomona Aeruginosa	NMP/100 mL	SM 9213 F	NE
<b>Metales totales</b>			
Arsénico Total	mg As/L	SM 3030 K Ed. 23; US EPA 200.7.	0,01
Cadmio Total	mg Cd/L		0,0015
Cobre Total	mg Cu/L		0,01
Cromo Total	mg Cr/L		0,01
Mercurio Total	mg Hg/L		0,001
Plomo Total	mg Pb/L		0,008
Zinc Total	mg Zn/L		0,01

NE: No especifica

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S, CHEMICAL LABORATORY S.A.S. e HIDROLAB, 2023.

### 3.2 Regla de decisión y declaración de conformidad

La regla de decisión describe como se tiene en cuenta la incertidumbre de medición cuando se declara la conformidad con un requisito especificado, (ISO/IEC 17025:2017), el laboratorio SERAMBIENTE S.A.S. utiliza la declaración binaria con la regla de



**SERambiente**  
Servicios de Ingeniería Ambiental

part of  
**ALS Limited**



aceptación simple ( $w=0$ ) para determinar la conformidad de los resultados relacionados en el presente informe, previamente acordado con el cliente. y constado en la orden interna de trabajo, en la cual, SERAMBIENTE S.A.S. define por defecto la regla de aceptación simple toda vez que durante la documentación el cliente no especifique la regla de decisión a aplicar. Lo anterior de acuerdo con lo establecido PO-PSM-84 DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD.

La declaración binaria para una regla de aceptación simple ( $w=0$ ) es definida como aquella regla de decisión en la cual el límite de aceptación es el mismo que el límite de tolerancia cuyo riesgo específico corresponde al  $< 50\%$  PFA (Probabilidad de Aceptación Falsa). Esta regla supone dos conceptos de decisión asociados a la comparación de los resultados registrados con la normatividad vigente, estos son:

- Pasa (cumple) - el valor medido está por debajo del límite de aceptación.
- No pasa (no cumple) - el valor medido está por encima del límite de aceptación.

En la **Figura 1** se relaciona la representación gráfica de una declaración binaria para una regla de aceptación simple



**Figura 1. Declaración binaria con la regla de aceptación simple**

Fuente: ILAC-G8:09/2019.

### 3.2.1 Incertidumbre del resultado ( $U_{\pm}$ )

En el **Anexo 4** se presentan las incertidumbres de los resultados asociados a cada parámetro y punto evaluado, del mismo modo se relaciona el cálculo de la probabilidad de aceptación falsa, probabilidad de aceptación verdadera y el nivel de riesgo asociado a la regla de decisión empleada.



### 3.3 Descripción de los puntos de muestreo

A continuación, se presenta la descripción del punto de monitoreo, el cual se encuentra relacionado en el **Anexo 2**, formatos de campo (*Plan de monitoreo de agua - FO-PO-PSM-72-13, Planillas de campo muestreo integrado - FO-PO-PSM-45-07 y Cadenas de custodia - FO-PO-PSM-13-03*).

**Tabla 5. Descripción de los puntos de monitoreo ubicados en el área de estudio.**

Agua superficial y comunidades hidrobiológicas	
Descripción	<p>Los puntos se encuentran ubicados en la Ciénaga del convento, no se registró presencia de vientos, aguas calmadas no se observaron macrófitas flotantes en la ciénaga, especialmente por presencia de <i>Eichornnia crassipes</i> (tarulla) que es común encontrar grandes parches con estas especies, a continuación, se presenta la descripción de cada uno de los puntos de muestreo.</p>
	<p>○ <b>Ciénaga de convento P1:</b> Punto de monitoreo ubicado en un sistema léntico, presentó un sustrato de tipo lodoso, una profundidad de 1,32 m y una transparencia de 0,3 m. El agua presentó un color turbio, sin espuma, olores o iridiscencia. Dentro de las características del paisaje se observa actividad industrial, ganadería y asentamientos, la toma de muestras se realizó mediante condiciones climatológicas de un día soleado.</p>
	<p>○ <b>Ciénaga de convento P2:</b> Punto de monitoreo ubicado en un sistema léntico, presentó un sustrato de tipo lodoso, una profundidad de 1,43 m y una transparencia de 0,3 m. El agua presentó un color turbio, sin espuma, olores o iridiscencia. Dentro de las características del paisaje se observa actividad industrial y asentamientos, la toma de muestras se realizó mediante condiciones climatológicas de un día soleado.</p>
	<p>○ <b>Ciénaga de convento P3:</b> Punto de monitoreo ubicado en un sistema léntico, presentó un sustrato de tipo lodoso, una profundidad de 1,41 m y una transparencia de 0,3 m. El agua presentó un color turbio, sin espuma, olores o iridiscencia. Dentro de las características del paisaje se observa actividad industrial, ganadera y asentamientos, la toma de muestras se realizó mediante condiciones climatológicas de un día soleado.</p>
	<p>○ <b>Ciénaga de convento P4:</b> Punto de monitoreo ubicado en un sistema léntico, presentó un sustrato de tipo lodoso, una profundidad de 1,27 m y una transparencia de 0,3 m. El agua presentó un color turbio, sin espuma, olores o iridiscencia. Dentro de las características del paisaje se observa actividad industrial, ganadera y asentamientos, la toma de muestras se realizó mediante condiciones climatológicas de un día soleado.</p>
	<p>○ <b>Ciénaga de convento P5:</b> Punto de monitoreo ubicado en un sistema léntico, presentó un sustrato de tipo lodoso, una profundidad de 1,35 m y una transparencia de 0,3 m. El agua presentó un color turbio, sin espuma, olores o iridiscencia. Dentro de las características del paisaje se observa actividad industrial, ganadera y asentamientos, la toma de muestras se realizó mediante condiciones climatológicas de un día soleado.</p>
	<p>○ <b>Ciénaga de convento P6:</b> Punto de monitoreo ubicado en un sistema léntico, presentó un sustrato de tipo lodoso, una profundidad de 1,3 m y una transparencia de 0,3 m. El</p>





### Agua superficial y comunidades hidrobiológicas

agua presentó un color turbio, sin espuma, olores o iridiscencia. Dentro de las características del paisaje se observa actividad industrial, ganadera y asentamientos, la toma de muestras se realizó mediante condiciones climatológicas de un día soleado.

Registro fotográfico



**Fotografía 1. Ciénaga de convento P1**



**Fotografía 2. Ciénaga de convento P2**



**Fotografía 3. Ciénaga de convento P3**



**Fotografía 4. Ciénaga de convento P4**



**Fotografía 5. Ciénaga de convento P5**



**Fotografía 6. Ciénaga de convento P6**

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

## 3.4 Ubicación de los puntos de monitoreo

La ciénaga del Convento se encuentra ubicada entre los municipios de Malambo y Sabanagrande departamento del Atlántico, comunica en el norte con el caño Tortuga y



al sur con el caño Pinguillo se encuentra en el sistema de humedales, constituido por tres ciénagas conocidas como La Bahía y la Ciénega Grande de Malambo, interconectadas por un sistema de caños que a su vez se comunican con el Río Magdalena convirtiéndose éste en su principal afluente, debido a esto la zona se caracteriza ser una unidad ecológica de terrenos anegadizos y canales, cuyos caudales y extensión dependen de las variaciones pluviométricas locales y de la influencia del río.

En el sector la temporada calurosa dura 3,2 meses, la temperatura máxima promedio diaria es más de 32 °C. El mes más cálido del año en Malambo es junio, con una temperatura máxima promedio de 32 °C y mínima de 25 °C. La temporada fresca dura 2,5 meses, la temperatura máxima promedio diaria es menos de 31 °C. El mes más frío del año en Malambo es enero, con una temperatura mínima promedio de 24 °C y máxima de 31 °C. (Climate-data.org, 2021). En esta región de Colombia las lluvias se distribuyen heterogéneamente a lo largo del año, generando con esto épocas climáticas diferentes en las que se suceden meses secos y meses lluviosos con una regularidad interanual que tiende a ser la misma, pudiendo variar de acuerdo con las condiciones particulares de cada período. Generalmente, las precipitaciones se presentan de mayo a noviembre, con una pequeña interrupción en los meses de julio y agosto conocida como “veranillo de San Juan”. El ciclo se completa con el período seco, el cual se extiende de diciembre a abril y a veces mayo

Los puntos de monitoreo se ubicaron de acuerdo con el sistema de coordenadas geográficas WGS84 y coordenadas planas Magna Sirgas con origen Nacional, las coordenadas se relacionan en la **Tabla 6** y la ubicación geográfica en la **Figura 2**.





**Tabla 6. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo.**

Características del monitoreo				Georreferenciación	
Fecha de monitoreo:				25/07/2024	
Tipo de sistema				Léntico	
Punto	ID muestra	Hora (hh:mm)	Cota (msnm)	Geográficas WGS84	Origen Nacional (m)
Ciénaga de convento P1	206209 (A)	8:00 (A)	3	10°49'49,81" N	2755360,526 N
	206268 (B)	8:15 (B)		74°45'17,37" W	4808236,187 E
Ciénaga de convento P2	206210 (A)	9:20 (A)	3	10°48'50,87" N	2753548,519 N
	206269 (B)	9:10 (B)		74°45'7,77" W	4808517,282 E
Ciénaga de convento P3	206211 (A)	10:30 (A)	3	10°48'38,28" N	2753164,708 N
	206270 (B)	9:50 (B)		74°45'24,33" W	4808012,203 E
Ciénaga de convento P4	206212 (A)	11:50 (A)	3	10°49'15,72" N	2754311,984 N
	2062701 (B)	11:10 (B)		74°45'8,93" W	4808486,441 E
Ciénaga de convento P5	206213 (A)	13:05 (A)	3	10°48'59,54" N	2753817,671 N
	2062702 (B)	12:35 (B)		74°45'24,13" W	4808022,034 E
Ciénaga de convento P6	206214 (A)	14:15 (A)	3	10°48'34,68" N	2753050,325 N
	2062703 (B)	14:15 (B)		74°45'2,48" W	4808675,064 E

(A): Agua superficial; (B): Comunidad hidrobiológicas

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



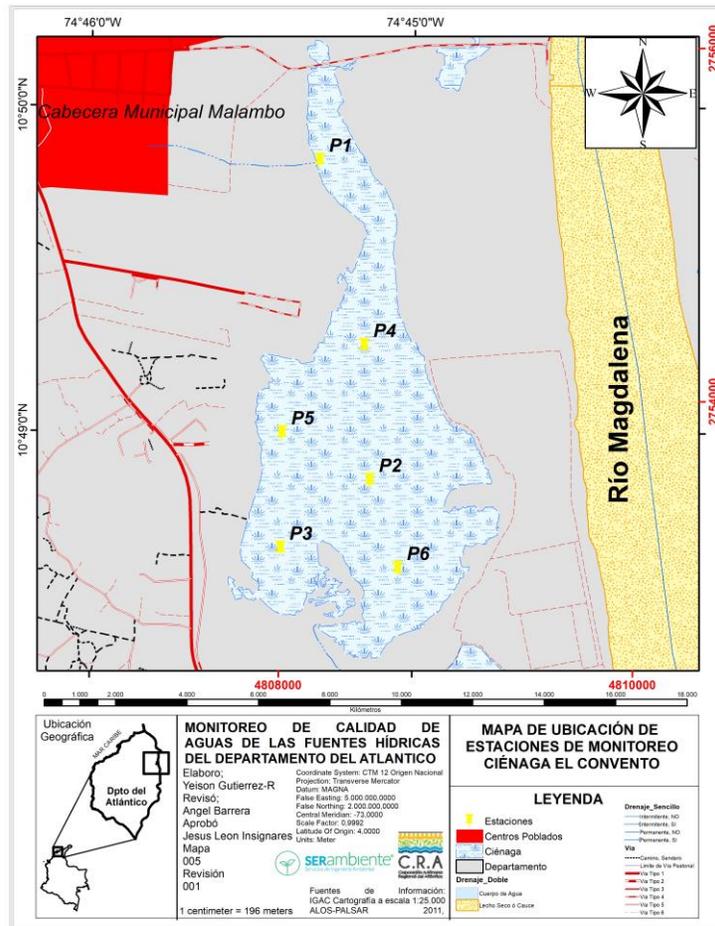


**INFORME TÉCNICO DE ESTUDIO DE  
CARACTERIZACIÓN DE AGUA  
SUPERFICIAL Y COMUNIDADES  
HIDROBIOLÓGICAS**

OT 8933-3-4-A-7038-  
B-1357

Versión: 00

Página 25 de 139



**Figura 2. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo**  
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.



## 3.5 Descripción metodológica

### 3.5.1 Etapa de campo

La recolección y preservación de las muestras de las comunidades hidrobiológicas monitoreadas se realizó de acuerdo con las metodologías consignadas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017). En la **Tabla 7** se enlistan los métodos seguidos para la toma de cada uno de los parámetros estudiados.

**Tabla 7. Listado de los métodos empleados para la toma de muestra**

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

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

La fase de campo inició con la preparación del plan de monitoreo (FO-PO-PSM-33-02) (**Anexo 1**), donde se tiene en cuenta los requerimientos de la orden de trabajo. Se realizó la verificación de equipos y materiales requeridos para el muestreo.

Ya en campo se procedió en cada uno de los puntos de monitoreo a registrar las condiciones ambientales del sistema (variables ambientales y aspectos físicos cualitativos) y de su área de influencia directa, posteriormente se realizó el muestreo para cada uno de los parámetros a evaluar.

La toma de muestras en campo se hizo conforme a lo establecido en los siguientes procedimientos internos de SERAMBIENTE S.A.S., avalados por el IDEAM. (se relacionan como en el ejemplo presentado a continuación)

- 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
- PO-PSM-38 Procedimiento para toma y procesamiento de muestras de peces.
- PO-PSM-39 Procedimiento para toma y procesamiento 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.

### **3.5.1.1. 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 con un volumen de 20L, la toma se realizó a nivel sub-superficial (25 cm de la superficie), haciendo uso de balde aforado y una red, con ojo de malla de 23  $\mu\text{m}$  para el filtrado (**Fotografía 7**)

Las muestras fueron fijadas *in situ* añadiendo 0,3 mL de Lugol por cada 100 mL y formalina tamponada agregando 2,5 mL por cada 100 mL de muestra, para una concentración final mínima del 2,5%. Las muestras fueron conservadas en un sitio oscuro y fresco hasta su posterior análisis.



**Fotografía 7. Toma de muestra para fitoplancton**

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023

### **3.5.1.2. Zooplancton**

Para la toma de muestra de zooplancton teniendo en cuenta que los puntos de monitoreo se encuentran en sistemas lenticos y lótico, con ayuda de un balde aforado se tomó agua a nivel superficial y se filtraron entre 60L de agua con una malla de 55  $\mu\text{m}$ . 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 (**Fotografía 8**).

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.



**Fotografía 8. Toma de muestra para zooplancton**

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

### **3.5.1.3. 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 cm<sup>2</sup>) 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.

#### **3.5.1.4. Macroinvertebrados bentónicos**

La toma de muestra para este componente hidrobiológico se realizó haciendo uso de una draga. El tamaño de la muestra fue de 0,27m<sup>2</sup>. 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% (**Fotografía 9**).



**Fotografía 9. Toma de muestra para macroinvertebrados bentónicos**

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



### **3.5.1.5. 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 1 m<sup>2</sup> (subdividido en cuadrados de 0,04 m<sup>2</sup>), 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*.

**(Fotografía 10)**



**Fotografía 10. Toma de muestra para macrófitas acuáticas**

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

### **3.5.1.6. Peces**

Para la recolecta de peces se realizaron capturas de individuos mediante uso de atarraya con un esfuerzo de esca de 10 lances de atarraya por punto de monitoreo. 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 reincorporados al sistema vivos. Posteriormente, representantes de cada morfoespecie fueron fotografiados, con el fin de registrar la coloración *in vivo* (**Fotografía 11**)



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.



**Fotografía 11. Toma de muestra para peces**

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

### 3.5.2 Etapa de laboratorio

Los métodos empleados para el análisis se describen en la **Tabla 8**.

**Tabla 8. Listado de los métodos empleados para el análisis de las muestras**

Parámetro	Método Muestreo
Fitoplancton	SM.10200 F.
Zooplancton	SM.10200 G
Macroinvertebrados bentónicos	SM. 10500 D.
Macrófitas acuáticas	SM. 10400 D.
Peces	SM. 10600 A, B, C, D.
Perifiton	SM. 10300 C.

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

El análisis en laboratorio se realizó teniendo en cuenta los siguientes procedimientos internos de SERAMBIENTE S.A.S, se relacionan como en el ejemplo:

- 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.

### **3.5.2.1 Fitoplancton**

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

### **3.5.2.2 Zooplancton**

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

### **3.5.2.3 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 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 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.

### **3.5.2.4 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.





### 3.5.2.5 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.

### 3.5.2.6 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.

## 3.6 Análisis de información

Los datos de 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 el punto de monitoreo. 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 9**.

**Tabla 9. Índices ecológicos**

Índices	Concepto	Formula	Variables	Rango
Equidad de Pielou (J')	Mide la proporción de la diversidad observada con la máxima diversidad esperada (Moreno,	$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$	J': Índice de Pielou H': Índice de Shannon-Wiener.	0- 1





Índices	Concepto	Formula	Variables	Rango
	2001), indica la uniformidad de las especies una muestra, donde los valores más cercanos a uno muestran mayor uniformidad.			
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.	$D_s = \frac{\sum N(n-1)}{N(N-1)}$	<p>D: Índice de Simpson. n: Número de individuos de la especie i. N: Número total de individuos.</p>	0-1
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).	$H' = - \sum p_i \ln(p_i)$ $p_i = \frac{N_i}{N}$	<p>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.</p>	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	$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N}$	<p>S = número de especies N = número total de individuos</p>	<p>D<math>\alpha</math> &lt; 2 = zonas de baja biodiversidad D<math>\alpha</math> &gt; 5 = Zonas alta biodiversidad.</p>





Índices	Concepto	Formula	Variables	Rango
	por número de individuos especificados o la cantidad de especies por área en una muestra (Margalef,1969)			

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., Año.

Para los Macroinvertebrados se aplicarán los índices BMWP/Col y ASTP, cuyo cálculo se indica a continuación:

BMWP: El método sólo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles como Perlidae y Oligoneuriidae reciben un puntaje de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo, Naididae, reciben una puntuación de 1 (Armitage et al. 1983). La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP. En la **Tabla 10** se detalla el puntaje BMWP para Colombia propuesto por Roldán (2003). La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje ASPT: Se calculó dividiendo el BMWP por el número de familias. Los valores se encuentran en un rango entre 0 y 10 y expresan el promedio de indicación de calidad del agua que tienen las familias de macroinvertebrados encontradas (**Tabla 11**).

**Tabla 10. Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.**

Parámetros	Método
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydraenidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcyidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae, Trichodactylidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coroxidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7





Parámetros	Método
Neritidae, Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Chrysomelidae, Coenagrionidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymneidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae, Planorbidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae.	2
Naididae	1

Fuente: G. Roldán, "Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col." Ed. Universidad de Antioquia. Colección de Ciencia y tecnología. Medellín, 2003.

**Tabla 11. Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col. y ASPT, Significado y colores para representaciones cartográficas.**

Clase	Calidad	BMWP/Col	ASPT	Significado	Color
I	Buena	>150	> 9 - 10	Aguas muy limpias	
		102-120	> 8	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	61-100	> 6	Aguas ligeramente contaminadas	
III	Dudosa	36-60	> 4	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Critica	16-35	> 3	Aguas muy contaminadas	
V	Muy critica	<15	1-mar	Aguas fuertemente contaminadas	

Fuente: G. Roldán, "Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col." Ed. Universidad de Antioquia. Colección de Ciencia y tecnología. Medellín, 2003.

### 3.7 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 El Convento.





### **3.7.1 Selección de variables.**

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

- Bibliográfico
- Normativo
- Análisis estadístico multivariado

#### **3.5.1.1. 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.

#### **3.5.1.2. 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 El Convento, 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 El Convento 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.





### **3.5.1.3. Criterio Estadístico.**

Para la utilización de este criterio, se tuvo en cuenta las caracterizaciones realizadas en la ciénaga El Convento en julio de 2023. 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 23 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, 2023) y Past 4.04.

### **3.5.1.4. 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.

### **3.5.1.5. 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.

### **3.5.1.6. 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 El Convento. 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 12. 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 Guájaro y en el 2023 a las Ciénaga de Luruaco.

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:

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





ICA	No de variables	Estructura	Método	Área de aplicación	Referencia
					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)
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:

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

### 3.7.2 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.

### 3.7.3 Validación.

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





## 4. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización de agua superficial consignados en campo y los reportados por los laboratorios tras el análisis de las muestras tomadas.

### 4.1 Resultados de campo

Los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en campo se relacionan en la **Tabla 13** y la comparación con la normativa aplicable se encuentra en la **Tabla 14**.

**Tabla 13. Resultados de parámetros medidos en campo.**

Alícuotas	Hora	Parámetros de monitoreo				
		pH	Oxígeno disuelto	Conductividad	Temperatura	Transparencia
		Unidades	mg/L	µs/cm	°C	cm
<b>Ciénaga de convento P1-206209</b>						
1	7:05	7,40	2,2	329	29,2	32 cm
2	7:30	7,40	2,5	326	29,8	
3	7:55	7,41	2,6	327	30,1	
<b>Muestra integrada</b>		7,41	2,4	325	30,3	
<b>Ciénaga de convento P2-206210</b>						
1	8:25	7,41	2,3	331	30,1	30 cm
2	8:50	7,40	2,4	331	30,5	
3	9:10	7,42	2,7	327	30,8	
<b>Muestra integrada</b>		7,41	2,5	330	30,9	
<b>Ciénaga de convento P3-206211</b>						
1	9:40	7,40	2,2	330	30,3	32 cm
2	10:05	7,42	2,5	330	30,4	
3	10:25	7,40	2,6	331	30,9	
<b>Muestra integrada</b>		7,41	2,5	330	30,9	
<b>Ciénaga de convento P4-206212</b>						
1	10:55	7,41	2,4	331	30,7	30 cm
2	11:20	7,43	2,3	330	30,9	
3	11:40	7,41	2,7	332	31,0	
<b>Muestra integrada</b>		7,42	2,6	331	31,1	
<b>Ciénaga de convento P5-206213</b>						





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

OT 8933-3-4-A-7038-  
B-1357

Versión: 00

Página 45 de 139

Alícuotas	Hora	Parámetros de monitoreo				
		pH	Oxígeno disuelto	Conductividad	Temperatura	Transparencia
		Unidades	mg/L	µs/cm	°C	cm
1	12:10	7,42	2,5	332	30,8	30 cm
2	12:35	7,41	2,6	330	31,0	
3	12:55	7,41	2,4	331	31,1	
<b>Muestra integrada</b>		7,41	2,5	332	31,1	
<b>Ciénaga de convento P6-206214</b>						
1	13:20	7,40	2,6	333	30,9	33 cm
2	13:45	7,42	2,7	331	31,0	
3	14:05	7,42	2,5	331	31,3	
<b>Muestra integrada</b>		7,42	2,6	331	31,3	

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

**Tabla 14. Resultados de campo VS Decreto 1076 de 2015.**

Puntos de monitoreo	Resultados		Cumplimiento Decreto 1076/2015	
	pH (Unidades)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Art. 2.2.3.3.9.10 (4,5-9,0)*	Art 2.2.3.3.9.10 (≥4,0)
Ciénaga de convento P1	7,41	2,4	Cumple	No Cumple
Ciénaga de convento P2	7,41	2,5	Cumple	No Cumple
Ciénaga de convento P3	7,41	2,5	Cumple	No Cumple
Ciénaga de convento P4	7,42	2,6	Cumple	No Cumple
Ciénaga de convento P5	7,41	2,5	Cumple	No Cumple
Ciénaga de convento P6	7,42	2,6	Cumple	No Cumple

\*: Para agua cálida y dulce

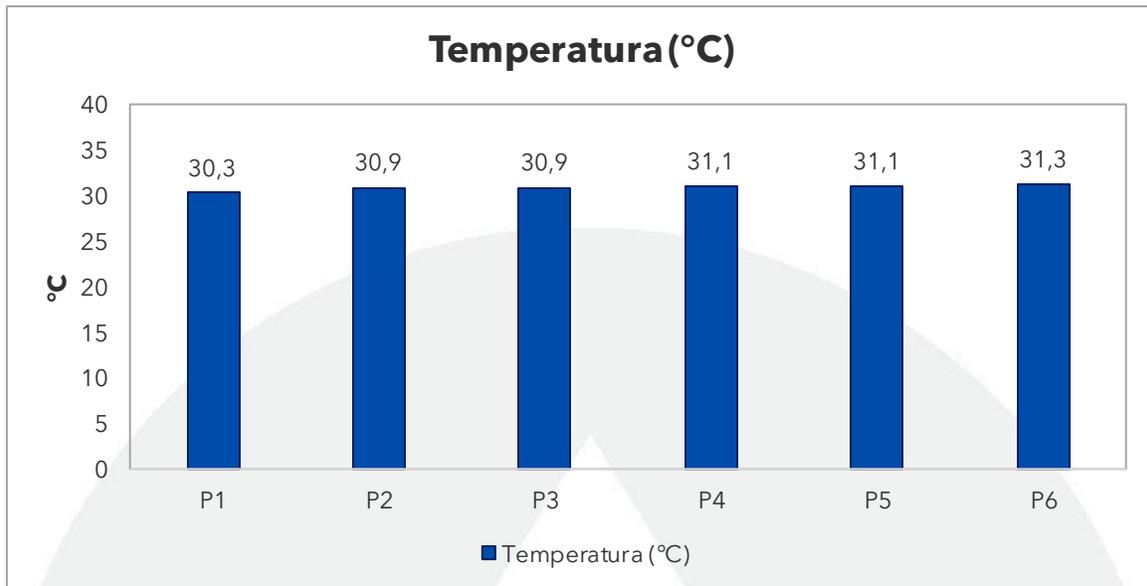
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.

El análisis de los resultados de los parámetros medidos en la ciénaga El convento, expuestos en la **Tabla 13**, demuestra que la temperatura del agua en el periodo monitoreado se encuentra entre los 30,3 °C (Ciénaga de convento P1) y 31,3°C (Ciénaga de convento P6), tal y como se muestra en la . Estos valores, se encuentran dentro de la media de los registros de la Corporación Regional Autónoma del Atlántico-CRA para este mismo cuerpo de agua, donde desde 2014 hasta 2022 se han reportado temperaturas promedio entre 27,9 y 34,0 °C.



**SERambiente**<sup>®</sup>  
Servicios de Ingeniería Ambiental

part of  
**ALS Limited**

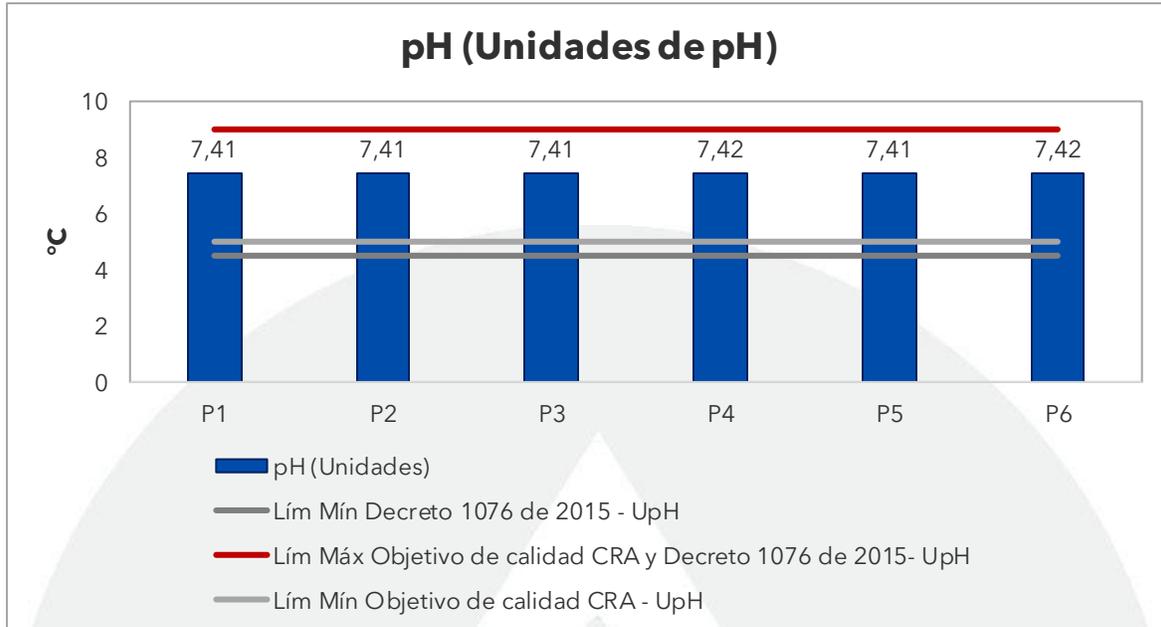


**Gráfica 1. Temperatura registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

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

En lo relacionado con el pH, en los diferentes puntos de muestreo se obtuvieron valores similares, entre 7,41 UpH y 7,42 UpH (**Gráfica 2**), que se encuentran dentro del rango establecido como objetivo de calidad de la Res. 0449 de 2021 de la CRA (corto y mediano plazo) y el Dec. 1076 de 2015 de la Presidencia de la República. Estos valores se encuentran dentro del rango óptimo en sistemas lénticos de zonas bajas tropicales (entre 5 y 9 unidades de pH) (Roldan, 1992) y no representan efectos letales sobre peces de aguas dulces (Alabaster y Lloyd, 1982). Además, se encuentran dentro de los valores habitualmente registrados en la ciénaga por la CRA, en la cual se han detectado concentraciones de esta variable entre 6,75 y 10,53 UpH.



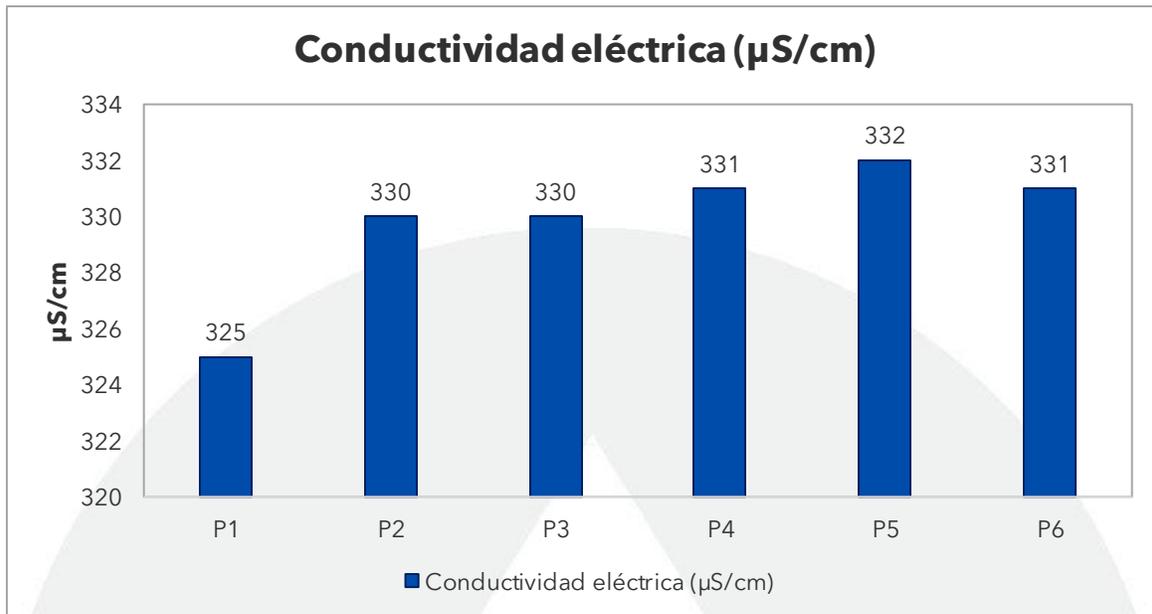


**Gráfica 2. pH registrado en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

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

Por su parte, los valores de conductividad estuvieron dentro del rango de 325  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en P1 y 332  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en P5 (**Gráfica 3**). Según Rodier, (1998), existe una relación entre la mineralización y la conductividad, en donde valores  $<100 \mu\text{S}/\text{cm}$  se consideran de mineralización muy débil; entre  $100 \mu\text{S}/\text{cm}$  y  $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ , mineralización débil; entre  $200 \mu\text{S}/\text{cm}$  y  $333 \mu\text{S}/\text{cm}$ , mineralización media; entre  $333 \mu\text{S}/\text{cm}$  y  $666 \mu\text{S}/\text{cm}$ , mineralización media acentuada; entre  $666 \mu\text{S}/\text{cm}$  y  $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ , mineralización importante; finalmente una conductividad  $> 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$  se considera una mineralización elevada.



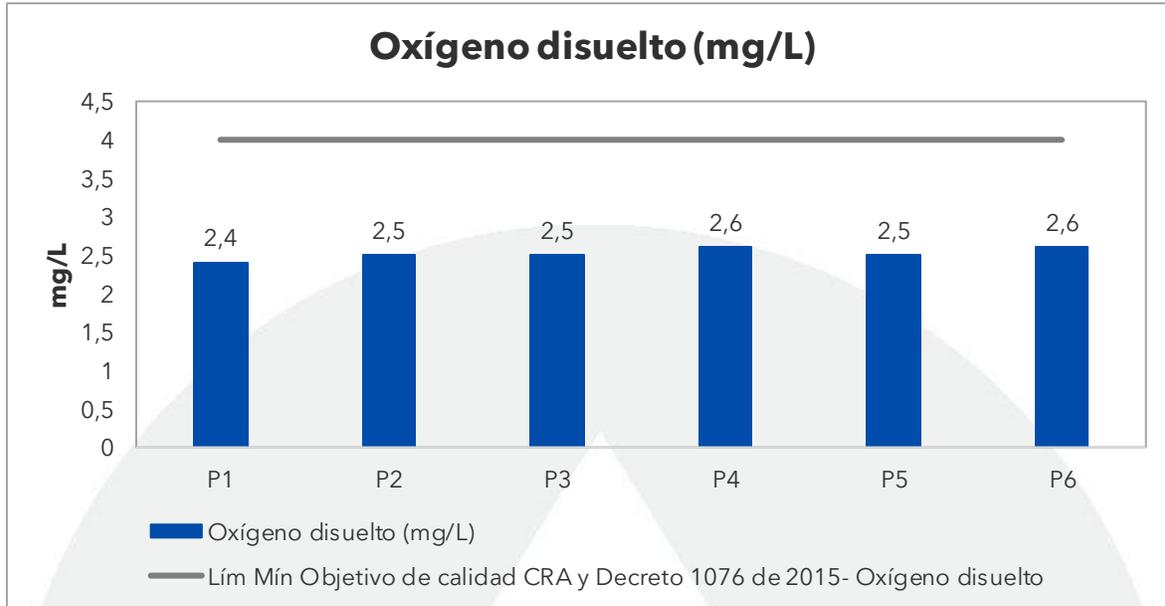


**Gráfica 3. Conductividad eléctrica registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

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

Los registros de oxígeno disuelto fueron bajos, con concentraciones por debajo de 3 mg/L (**Gráfica 4**). Estos valores presentan desviación con el rango de calidad para aguas cálidas dulces establecidos en Decreto 1076 de 2015 de la Presidencia de la República (4 mg/L). Sin embargo, se encuentra dentro de los valores históricos registrados para la ciénaga por la CRA, donde el mínimo fue de 0,3 mg/L en 2014 y el máximo de 17,2 mg/L en 2016. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, U.S. EPA, ha establecido el criterio de 5.0 mg/L, como la concentración mínima de oxígeno disuelto requerida para mantener la fauna acuática, respaldada por numerosos estudios científicos que señalan que de 4 a 5 mg/L es la mínima concentración de oxígeno a la que una gran diversidad de organismos acuáticos puede sobrevivir (Flanagan, 1992).





**Gráfica 4. Oxígeno disuelto registrado en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

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



## 4.2 Resultados de laboratorio

A continuación, en la **Tabla 15** se presentan los valores obtenidos para cada una de las variables fisicoquímicas y microbiológicas analizadas. Cabe resaltar que los parámetros enlistados en el Decreto 1076 de 2015 en el artículo 2.2.3.3.9.10 están expresados en unidades de concentración letal (CL), los cuales no son comparables con las unidades reportadas por nuestro laboratorio.

**Tabla 15. Resultados de laboratorio.**

Parámetro	Unidades	Punto de monitoreo					
		Ciénaga de convento P1	Ciénaga de convento P2	Ciénaga de convento P3	Ciénaga de convento P4	Ciénaga de convento P5	Ciénaga de convento P6
		25/07/2023					
		8:00 ID 206209	9:20 ID 206210	10:30 ID 206211	11:50 ID 206212	13:05 ID 206213	14:15 ID 206214
Clorofila A	mg/m <sup>3</sup> Clorofila a	<0,200	<0,200	<0,200	<0,200	<0,200	<0,200
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	28,0	28,9	32,0	31,8	31,7	31,6
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	77	78	80	78	80	79
Detergentes (SAAM)	mg SAAM/L	0,50	0,67	0,56	0,50	< 0,40	< 0,40
Dureza Cálctica	mg CaCO <sub>3</sub> /L	20,7	46,6	35,3	38,5	57,0	44,3
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	86,5	88,2	106,8	75,3	110,7	77,2
Fósforo Reactivo Total (Fosfato)	mg P-PO <sub>4</sub> /L	0,09	0,09	0,06	0,08	0,08	<0,05
Fósforo Total	mg P/L	0,18	0,24	0,30	0,24	0,25	0,35
Grasas Y Aceites - Infrarrojo	mg G&A/L	2,7	2,7	2,1	0,7	3,0	2,0
Hidrocarburos - Infrarrojo	mg HT/L	0,8	1,2	0,6	1,2	1,2	0,8
Nitratos-Cl	mg N-NO <sub>3</sub> -/L	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Nitritos	mg N-NO <sub>2</sub> -/L	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH <sub>3</sub> /L	0,8	0,5	0,2	0,7	0,6	1,1
Plaguicidas organoclorados	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Plaguicidas organofosforados	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L	331	336	340	345	350	340
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	62,9	50,0	65,1	58,0	66,1	79,0





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

OT 8933-3-4-A-7038-B-

Versión: 00

Página 51 de 139

Parámetro	Unidades	Punto de monitoreo					
		Ciénaga de convento P1	Ciénaga de convento P2	Ciénaga de convento P3	Ciénaga de convento P4	Ciénaga de convento P5	Ciénaga de convento P6
		25/07/2023					
		8:00 ID 206209	9:20 ID 206210	10:30 ID 206211	11:50 ID 206212	13:05 ID 206213	14:15 ID 206214
Sulfatos-Cl	mgSO <sub>4</sub> /L	58	67	67	64	70	65
Sulfuros	mg S <sub>2</sub> -/L	<0,85	<0,85	<0,85	<0,85	<0,85	<0,85
<b>Metales totales</b>							
Arsénico Total	mg/L As	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cadmio Total	mg/L Cd	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Cobre Total	mg/L Cu	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cromo Total	mg/L Cr	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Mercurio Total	mg/L Hg	0,001	0,002	<0,001	0,002	0,001	<0,001
Plomo Total	mg/L Pb	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008
Zinc Total	mg/L Zn	0,01	0,05	0,07	0,02	0,02	0,02
<b>Microbiológicos</b>							
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	45	78	68	20	78	45
Coliformes totales	NMP/100 mL	130	78	68	45	78	45
Pseudomona Aeruginosa	NMP/100 mL	9,2	2,0	2,0	4,5	2,0	2,0

<: Valor por debajo del límite de cuantificación del método de análisis

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., CHEMICAL LABORATORY S.A.S. e HIDROLAB, 2023.



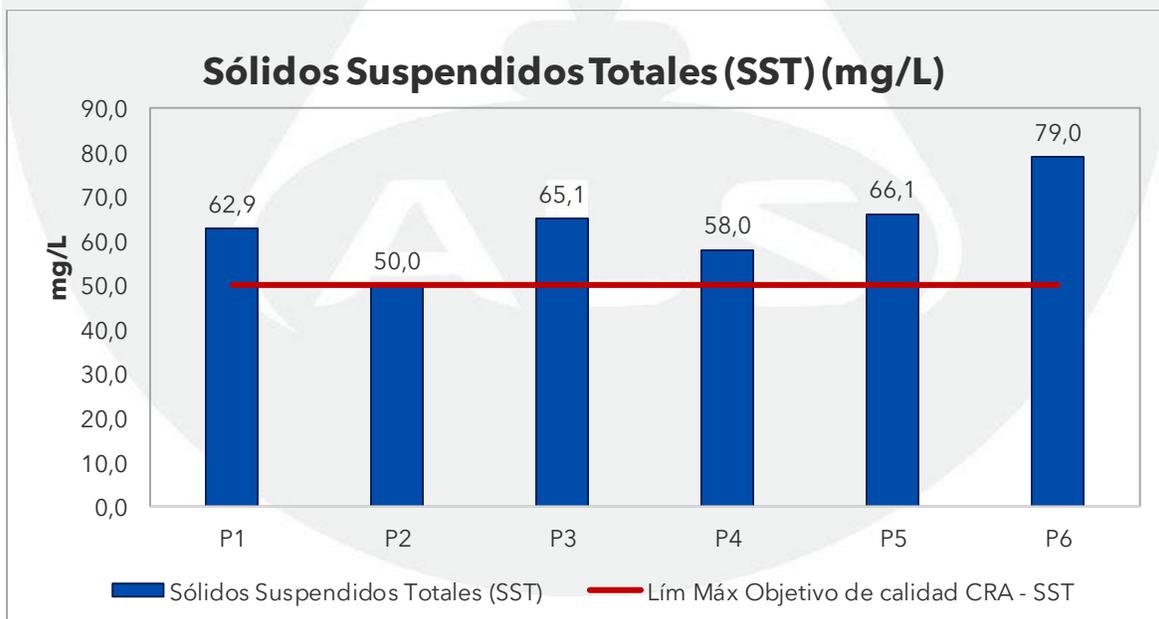
**SERambiente**  
Servicios de Ingeniería Ambiental

part of  
**ALS Limited**



Con referencia a la clorofila-a, se registraron concentraciones por debajo del límite de cuantificación del método empleado, lo que indica poca o nula influencia sobre las muestras de agua superficial analizadas.

En el caso de los SST se presentaron concentraciones que presentan desviación con objetivo de calidad establecido por la CRA en la Res. 0449 de 2021 (50 mg/L), a excepción del punto Ciénaga de convento P2, el cual presentó un valor de 50,0 mg/L, el cual se encuentra sobre el límite presentando cumplimiento, (**Gráfica 5**). La variabilidad de este parámetro depende de muchos factores, como la sedimentación ocasionada por las entradas de agua, las lluvias y el aumento o decrecimiento de las poblaciones de plancton, entre otros, por lo cual, en esta ciénaga se han registrado diferentes concentraciones a través de los años, con su registro más alto en 2014 con 456,67 mg/L y el más bajo en 2019 con 17,33 mg/L. En todo caso, autores como Ramírez y Viña (1998) establecen un valor límite de 150 mg/L de SST como el máximo para considerar un cuerpo de agua contaminado.



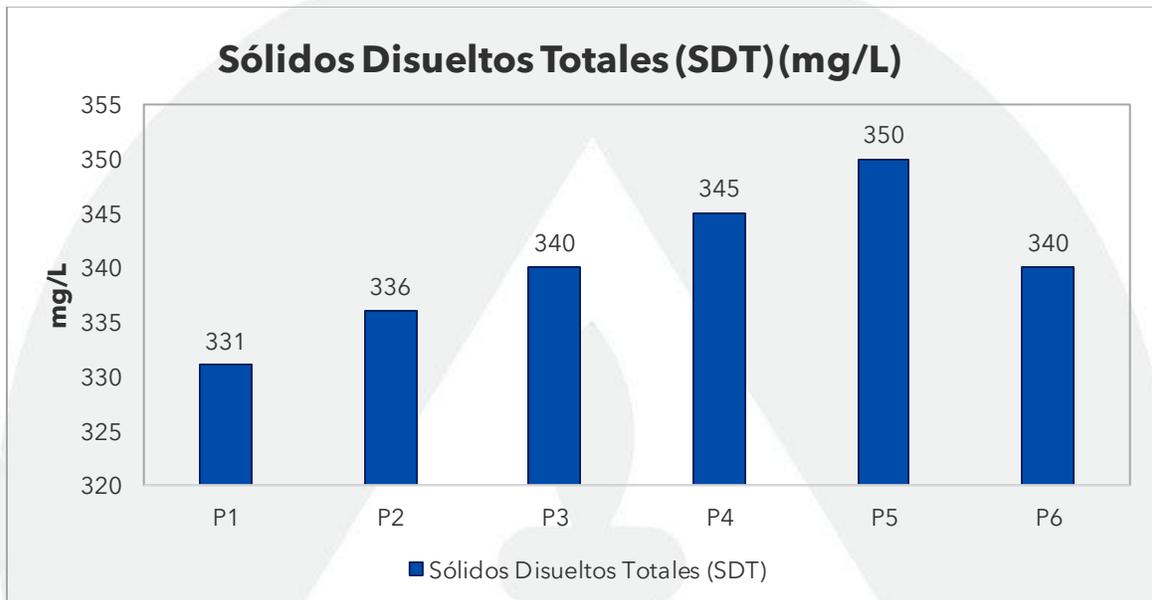
**Gráfica 5. SST registrado en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

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





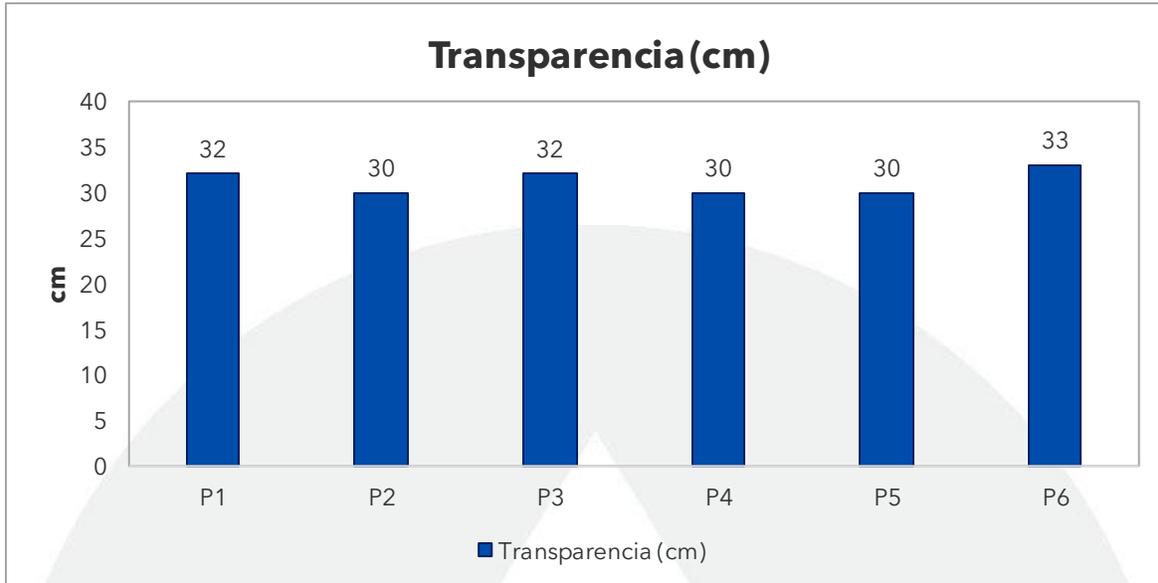
Por su parte, los SDT muestran relación directa con la conductividad, debido a que esta última es sensible a las variaciones de sólidos disueltos, principalmente de sales minerales (Chapman 1996), presentándose concentraciones entre 331 mg/L en P1 y 350 mg/L en P5 (**Gráfica 6**). En tanto, la transparencia (**Gráfica 7**), muestra relación directa con los SST ya que estos influyen en la entrada de luz en la columna de agua.



**Gráfica 6. SDT registrado en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

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

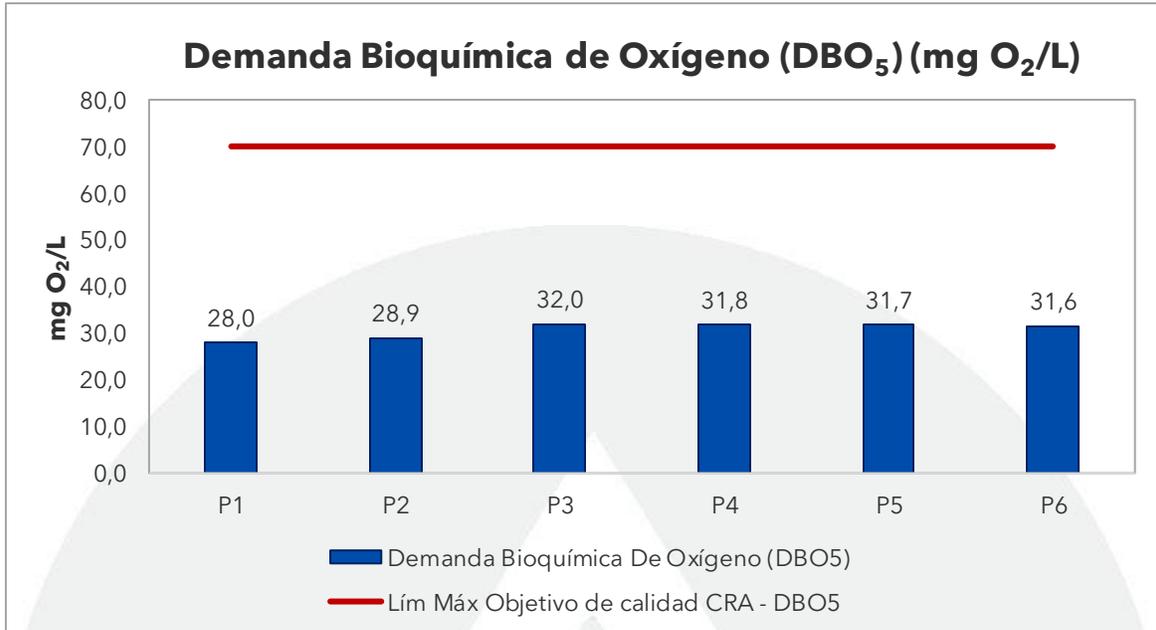




**Gráfica 7. Transparencia registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

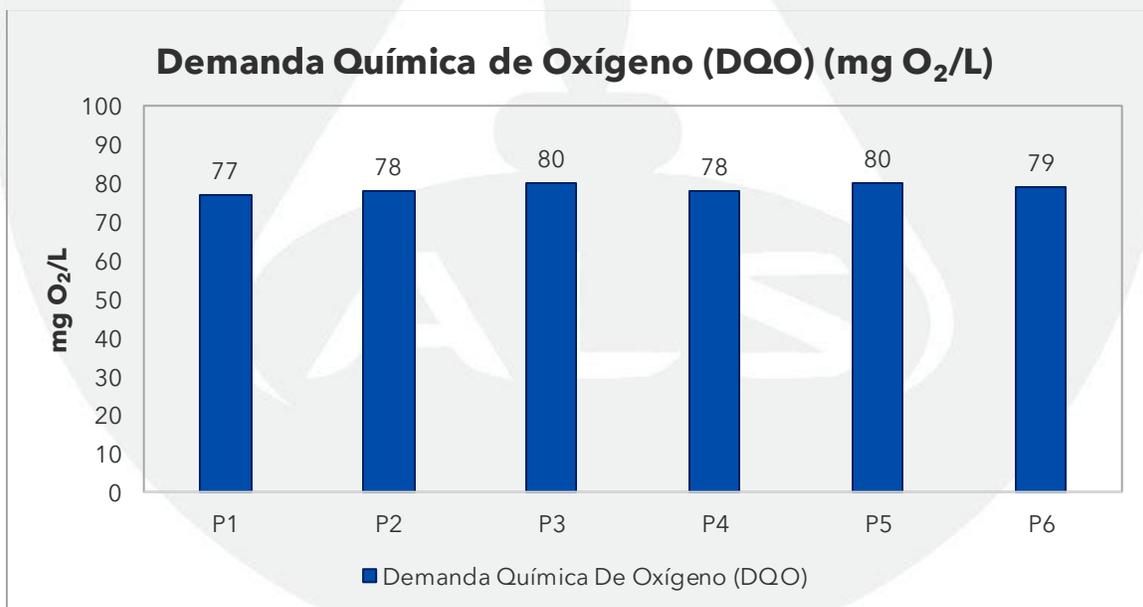
*Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.*

Con respecto a la DBO<sub>5</sub>, se obtuvieron valores entre 28,0 y 31,8 mg/L ( ) que cumplen con el objetivo de calidad establecido por la CRA en la Res. 0449 de 2021 (70 mg/L), no obstante, estos valores pueden ser considerados altos, ya que de acuerdo con Ramírez y Vina (1998), en aguas naturales, los valores de DBO mayores de 6 mg/L indican contaminación. En cuanto a la DQO registró concentraciones entre 77 y 80 mg/L ( ). Según lo indica Escribano y De Frutos (1987), valores superiores a 40 mg/L pueden considerarse de aguas de calidad regular o mala.



**Gráfica 8. DBO<sub>5</sub> registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

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



**Gráfica 9. DQO registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

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

Comparando los valores de oxígeno disuelto con los de la DBO<sub>5</sub> y DQO, se puede inferir que hay alta demanda por parte de microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, que lo consumen durante la degradación

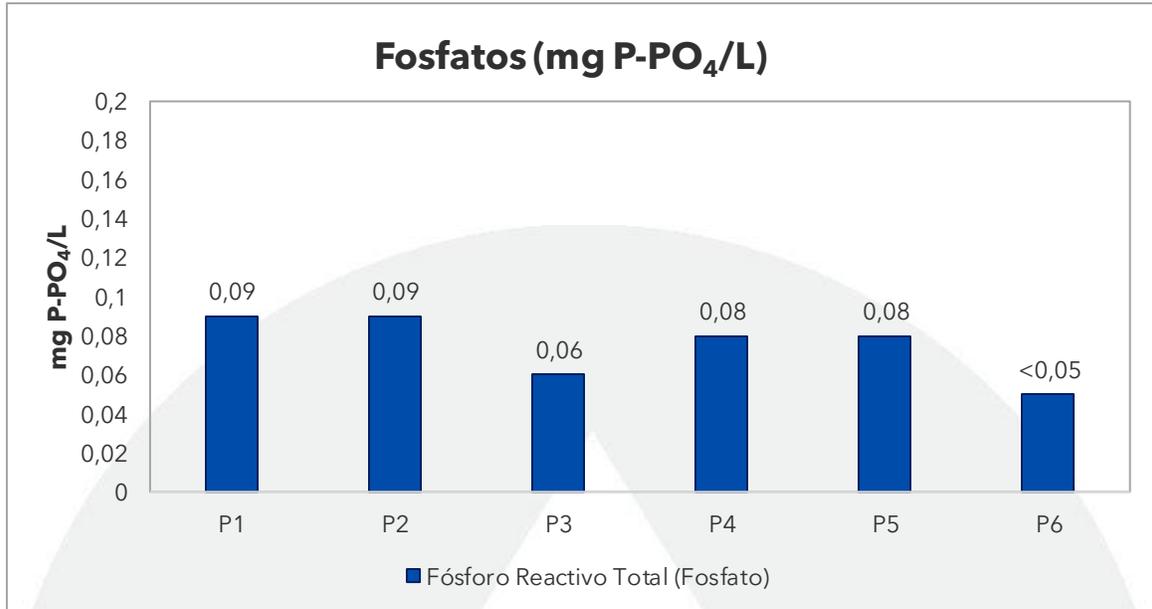


de las sustancias orgánicas y mucho del oxígeno también se está consumiendo en la oxidación de materia orgánica por medios químicos.

En lo relacionado con los nutrientes nitrogenados, los nitratos y nitritos registraron concentraciones por debajo del límite de cuantificación del método empleado, mientras que el nitrógeno amoniacal se registró en concentraciones entre 0,2 mg/L en P3 y 1,1 mg/L en P6. En general, la presencia de amoniaco libre o ion amonio se considera como una prueba química de contaminación reciente y peligrosa. Si el medio es aerobio, el nitrógeno amoniacal se transforma en nitritos (U.S. Environmental Protection Agency, 2000).

Se registraron concentraciones de fosfatos entre 0,06 y 0,09 mg/L, a excepción de P6, donde la concentración estuvo por debajo del límite de cuantificación del método empleado. Según Rivera (2007), las concentraciones críticas para una eutrofización incipiente son entre 0.005 y 0.01 mg/L en aguas tranquilas (**Gráfica 10**). Por su parte, el fósforo total, reportó valores entre 0,18 mg/L en P1 y 0,35 mg/L en P6 (**Gráfica 11**). Si se compararan estos datos con la clasificación trófica para lagos y ríos canadienses (CCME, 2005), se pudiera decir que las concentraciones obtenidas de P1 a P5 son propias de cuerpos de aguas hiper eutróficos (>0.100).

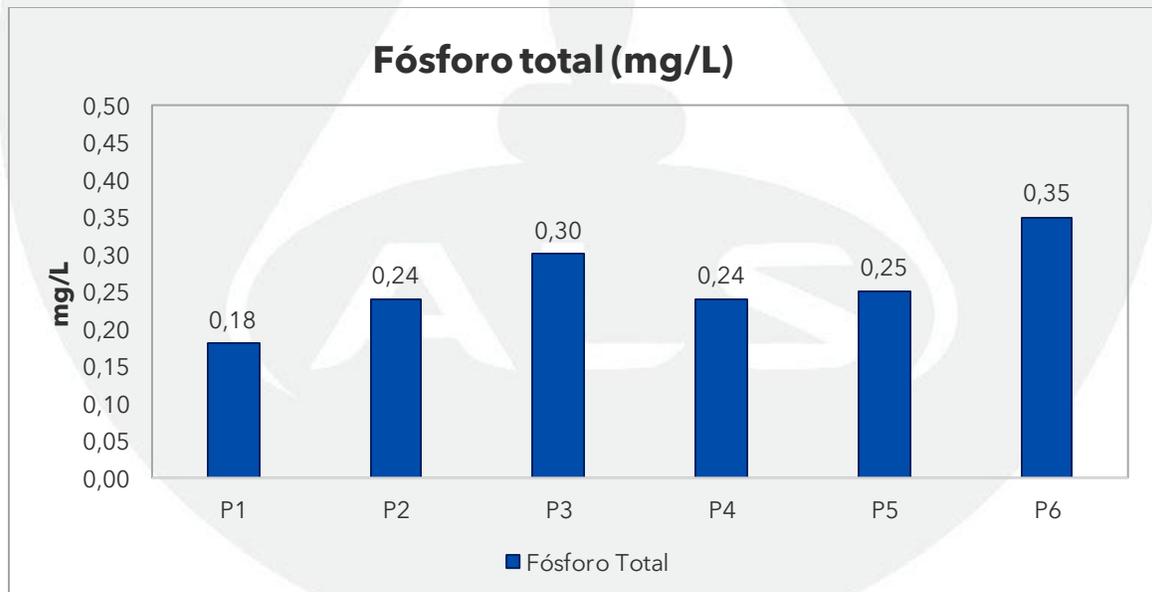




<: Valor por debajo del límite de cuantificación del método de análisis

**Gráfica 10. Fosfato registrado en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

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



**Gráfica 11. Fósforo total registrado en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

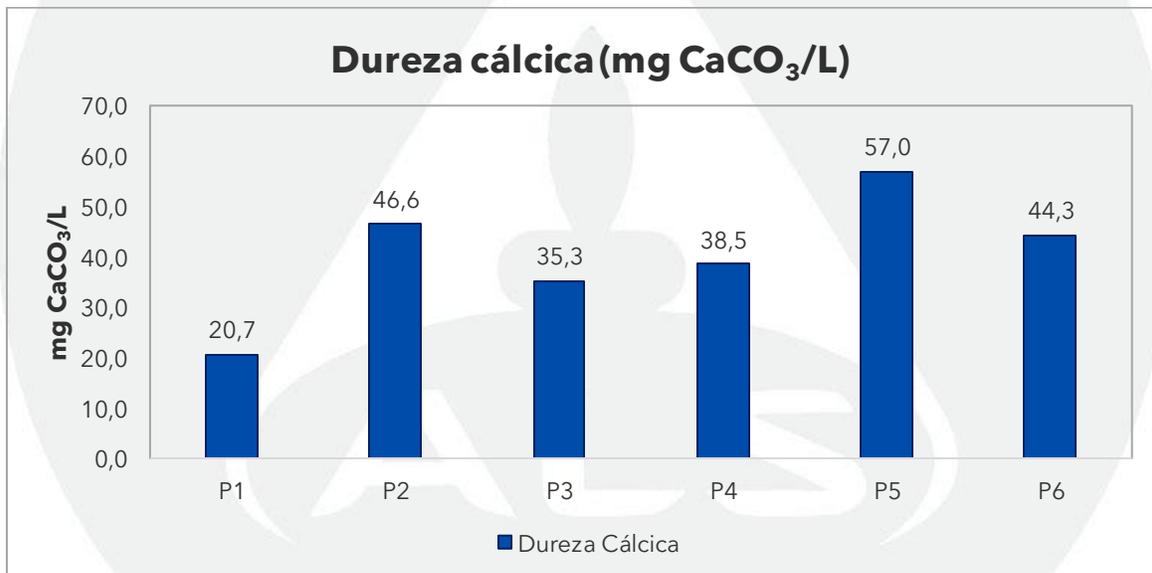
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.

Otro parámetro que registró concentraciones por debajo del límite de cuantificación del método empleado fueron los sulfuros, pero sí se registraron sulfatos, con concentraciones entre 58 y 70 mg/L. En aguas naturales no contaminadas, comúnmente



las concentraciones de sulfatos disueltos varían de 2 mg/L a 80 mg/L (Beita-Sandí y Barahona-Palomo, 2011).

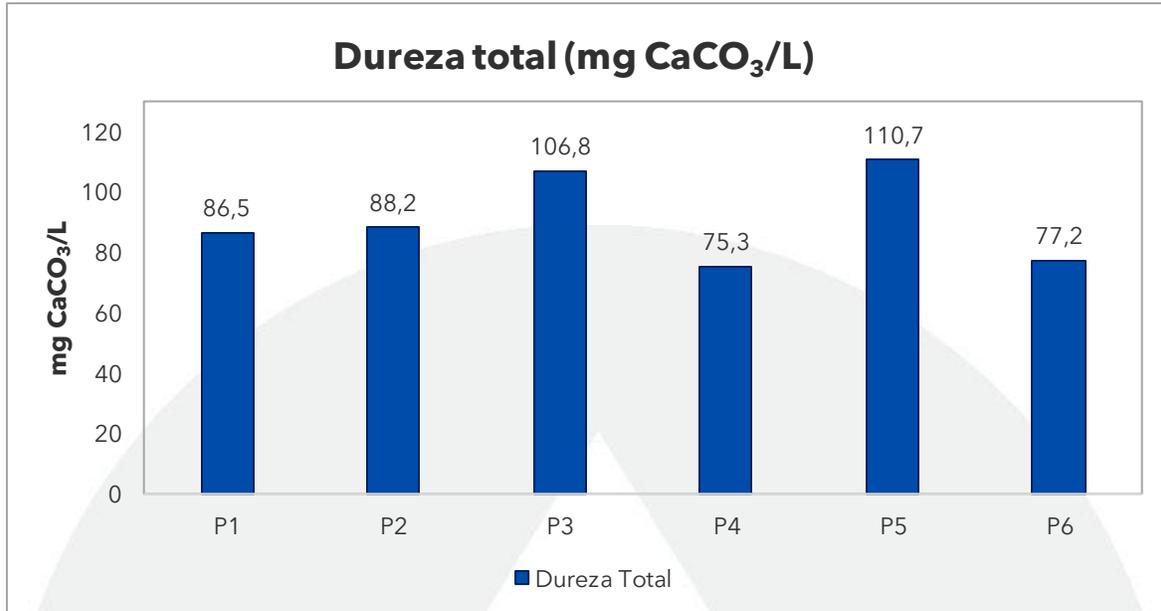
La dureza cálcica no es el parámetro más característico de la ciénaga El Convento. Para este monitoreo se registraron concentraciones bajas, entre 20,7 y 57,0 mg/L (**Gráfica 12**), que según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), definen las aguas blandas, cuyas concentraciones son inferiores a 60 mg/L de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) (Rodríguez-Zamora, 2009). Por su parte, la dureza total, presentó valores que estuvieron entre 75,3 mg/L y 110,7 mg/L (**Gráfica 13**), aceptables para la vida acuática, puesto que la mayoría de los organismos toleran entre 50 y 200 mg  $\text{CaCO}_3$ /L (Wetzel, 2001).



**Gráfica 12. Dureza cálcica registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

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





**Gráfica 13. Dureza total registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

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

Las grasas y aceites presentan desviación con el objetivo de calidad establecido por la CRA en la Res. 0449 de 2021 (Ausentes), registrándose concentraciones entre 0,7 y 3 mg/L. Por su parte, los hidrocarburos presentaron concentraciones de 0,6 a 1,2 mg/L y

En el caso de los detergentes, se observaron concentraciones entre 0,5 y 0,67 mg/L de P1 a P4 y con concentraciones por debajo del límite de cuantificación del método empleado en P5 y P6.

La presencia de estos compuestos en el agua de la ciénaga se debe a la entrada de fuentes de origen exógeno de tipo antropogénico y tienen gran impacto, debido a que forman películas en la superficie que conllevan a que no haya un adecuado intercambio de oxígeno y luz entre el agua y el exterior, afectando la flora y la fauna acuática.

Por otro lado, los plaguicidas organoclorados y organofosforados registraron concentraciones por debajo del límite de cuantificación del método empleado.

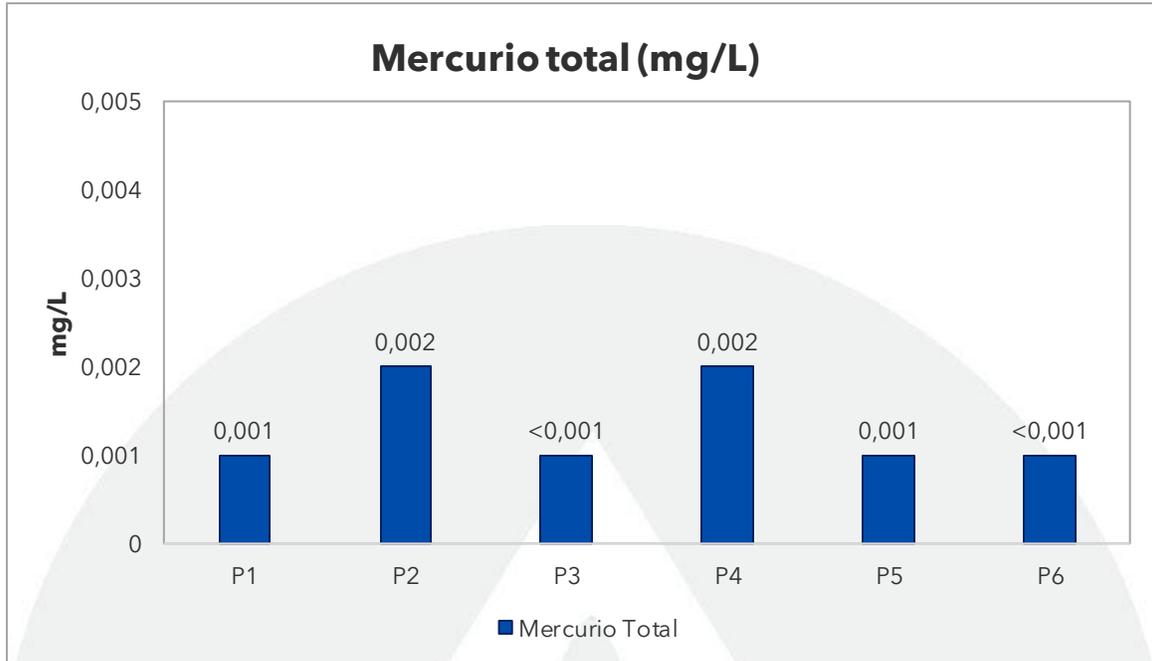


En cuanto a los metales pesados, el arsénico, cadmio, cobre, cromo y plomo registraron concentraciones por debajo del límite de cuantificación del método empleado. En el caso del mercurio y el zinc reportaron concentraciones, entre  $<0,001$  y  $0,002$  mg/L el primero, con dos puntos, P3 y P6 con concentraciones por debajo del límite de cuantificación del método empleado (**Gráfica 14**) y el segundo, entre  $0,01$  y  $0,07$  mg/L (**Gráfica 15**).

En medios acuosos, el mercurio está presente en forma de sales inorgánicas, los niveles de metilmercurio en las aguas son menores que los de mercurio inorgánico. Se estima que la concentración de mercurio total en las aguas naturales oscila entre  $0,2$  y  $100$   $\mu\text{g/L}$  (Boy, 2015)

En lo relacionado con el Zinc, el valor más alto se obtuvo en P3 con  $0,07$  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  $60$   $\mu\text{g/L}$ . 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).

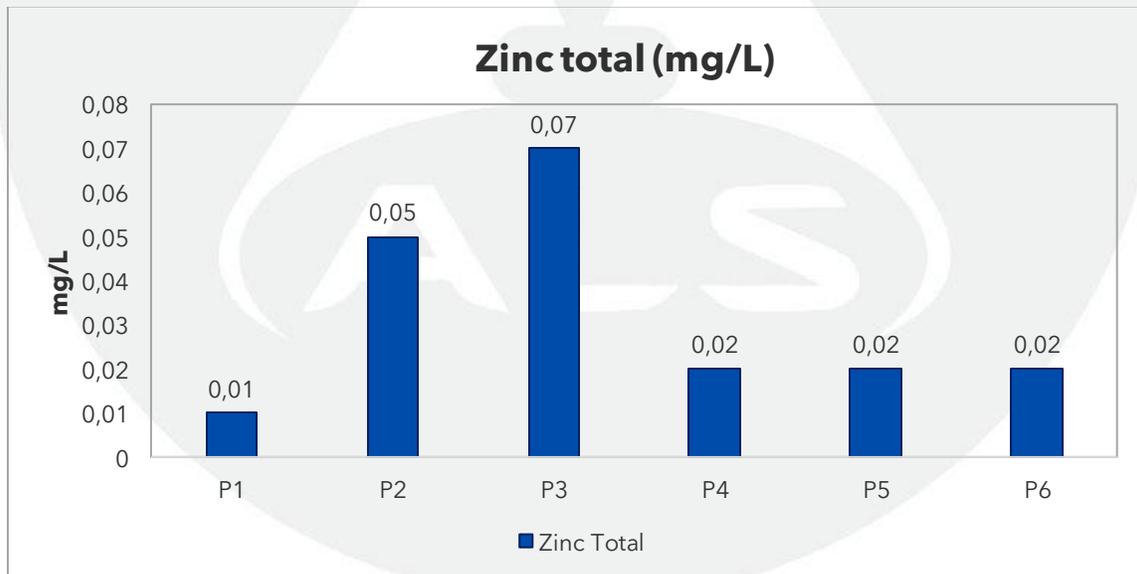




<: Valor por debajo del límite de cuantificación del método de análisis

**Gráfica 14. Mercurio total registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

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



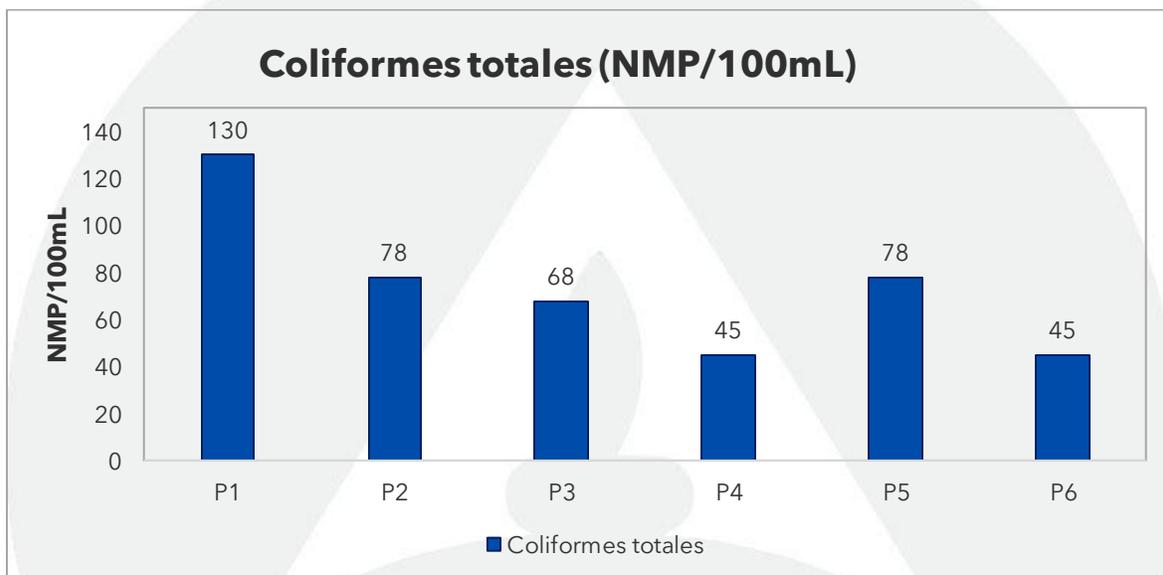
**Gráfica 15. Zinc total registrada en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

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





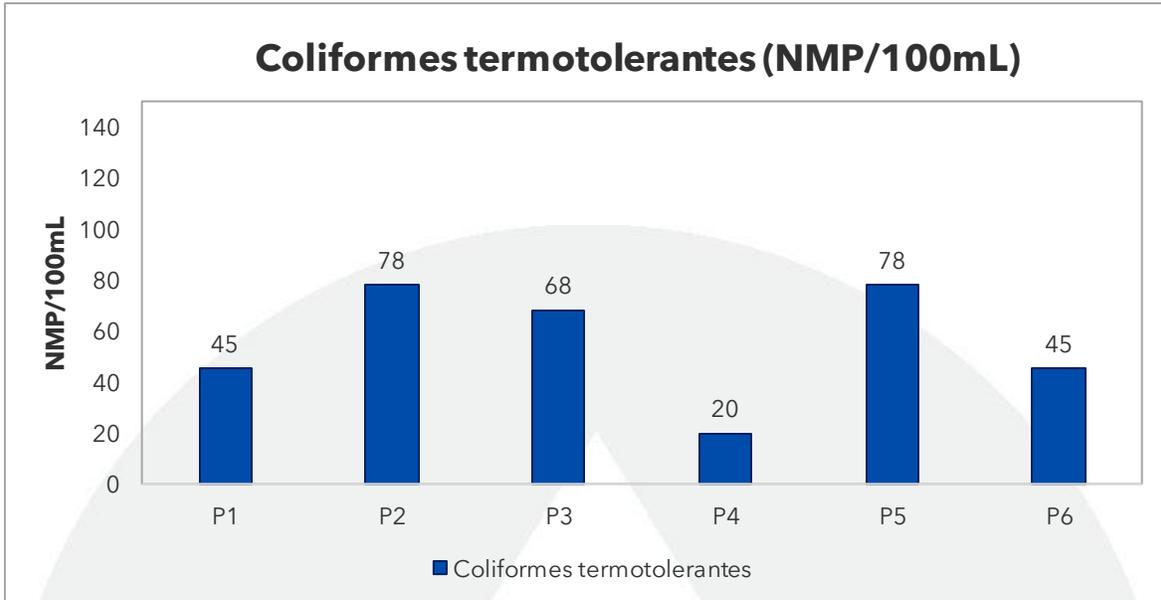
Los resultados obtenidos para los Coliformes termotolerantes, Coliformes totales y Pseudomona Aeruginosa muestran valores bajos de contaminantes de origen patógeno (**Gráfica 16;Gráfica 17;Gráfica 18**), en contraste con registros con los anteriores realizados por la CRA, donde se han obtenido hasta 2765,33 NMP/100 mL de CT (2016) y 2049,05 NMP/100 mL de CTE (2019), lo que sugiere que la contaminación de este tipo es ocasional, producto de descargas de aguas residuales o la entrada de afluentes contaminados hacia la ciénaga.



**Gráfica 16. Coliformes totales registrados en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

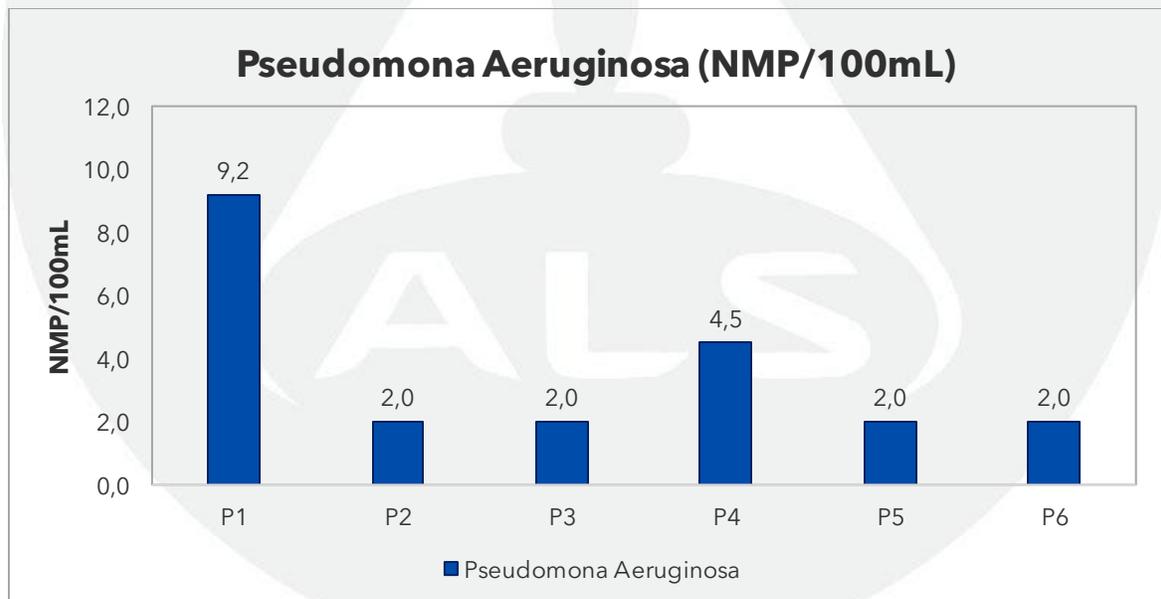
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.





**Gráfica 17. Coliformes termotolerantes registrados en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

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



**Gráfica 18. Pseudomona Aeruginosa registrado en la ciénaga El Convento en julio de 2023.**

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



## 4.3 Hidrobiológicos

### 4.3.1 Fitoplancton

El fitoplancton es una comunidad de organismos microscópicos fotosintetizadores que viven suspendidos en la zona fótica de la columna de agua. El fitoplancton juega un papel muy importante como base de las redes tróficas y como indicadores de la calidad del agua. Así este puede usarse como grupo centinela, ya que sirve de indicador de la condición biológica (López *et al.*, 2016). Debido a su alta susceptibilidad a la variabilidad climática se observan adelantos o atrasos en sus ciclos estacionales, así como cambios en su concentración o composición.

Las comunidades de fitoplancton se encuentran en interacción con condiciones bióticas y abióticas. Las variables abióticas más relevantes en el desarrollo de las especies de fitoplancton son iluminación solar, temperatura, pH, salinidad y disponibilidad de nutrientes. Estos factores varían según las características de los sistemas acuáticos y a ellos se encuentran asociados una composición específica de microalgas; Los cambios de las condiciones fisicoquímicas del agua pueden ser detectados tempranamente a través de la composición y abundancia de las comunidades de fitoplancton (Comas, 2009).

La comunidad fitoplanctónica en la Ciénaga Convento estuvo conformada por 22 morfoespecies, vinculadas a cinco (5) divisiones, nueve (9) clases, 12 órdenes y 14 familias, cuya clasificación taxonómica se encuentra enlistada en la **Tabla 16**.

**Tabla 16. Clasificación taxonómica de las morfoespecies fitoplanctónicas observadas en la ciénaga El Convento.**

División	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	<i>Desmodesmus</i> sp1
				<i>Desmodesmus</i> sp2
				<i>Pectinodesmus pectinatus</i>
				<i>Tetrastrum</i> sp
				<i>Coelastrum</i> sp1
			Hydrodictyaceae	<i>Pediastrum duplex</i>





División	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Charophyta	Zygnematophyceae	Desmidiaceae	Desmidiaceae	<i>Staurastrum</i> sp1
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i> sp1
		Synechococcales	Microcoleaceae	<i>Planktothrix</i> sp
		Nodosilineales	Merismopediaceae	<i>Aphanocapsa</i> sp1
			Cymatolegaceae	<i>Aphanocapsa</i> sp2
		Chroococcales	Microcystaceae	<i>Rhabdoderma</i> sp
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Microcystis</i> sp1
				<i>Microcystis</i> sp2
				<i>Euglena</i> sp1
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Naviculaceae	<i>Euglena</i> sp2
	Mediophyceae	Stephanodisciales	Stephanodiscaceae	<i>Euglena</i> sp3
	Coccolodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	<i>Navicula</i> sp1
	Xanthophyceae	Mischococcales	Pleurochloridaceae	<i>Cyclotella</i> sp
	Eustigmatophyceae	Goniochloridales	Goniochloridaceae	<i>Aulacoseira</i> sp1
				<i>Isthmochloron</i> sp
				<i>Goniochloris</i> sp
<b>5</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>22</b>

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

La morfoespecie de mayor abundancia fue *Cyclotella* sp con 34720000,00 Ind/L; mientras que, las morfoespecies menos representativas fueron *Oscillatoria* sp1 y *Euglena* sp3, con 40000,00 Ind/L (**Tabla 17**).

*Cyclotella* sp, este género principalmente de agua dulce y hábito planctónico (Guiry, 2020). Es cosmopolita (Uherkovich y Rai, 1979). Algunas especies se relacionan con ambientes contaminados, eutróficos; alto contenido orgánico, se les considera como organismos indicadores de contaminación en un medio acuático, se utilizan como excelentes indicadores de las condiciones del agua en donde habitan (calidad del agua, concentración de nutrientes, acidez en el agua, contaminación, metales pesados, etc), (Bellinger y Sigee, 2010). Las altas densidades de esta morfoespecie pueden estar asociadas con variables ambientales reportadas, lo que podría explicar la condición de hipoxia en el cuerpo de agua, así como la condición termo fijadora de estos organismos.





**Tabla 17. Densidad (Ind/L) de las morfoespecies de fitoplancton en la Ciénaga Convento.**

Morfoespecie	Densidad (Ind/L)						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total
<i>Desmodesmus</i> sp1	60000,00	100000,00	0,00	60000,00	0,00	40000,00	260000,00
<i>Desmodesmus</i> sp2	160000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40000,00	200000,00
<i>Pectinodesmus pectinatus</i>	0,00	40000,00	0,00	0,00	0,00	40000,00	80000,00
<i>Tetrastrum</i> sp	40000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40000,00	80000,00
<i>Coelastrum</i> sp1	0,00	60000,00	0,00	0,00	40000,00	60000,00	160000,00
<i>Pediastrum duplex</i>	120000,00	160000,00	80000,00	60000,00	1580000,00	400000,00	2400000,00
<i>Staurastrum</i> sp1	40000,00	100000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	140000,00
<i>Oscillatoria</i> sp1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40000,00	40000,00
<i>Planktothrix</i> sp	2340000,00	360000,00	180000,00	60000,00	80000,00	740000,00	3760000,00
<i>Aphanocapsa</i> sp1	160000,00	1860000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2020000,00
<i>Aphanocapsa</i> sp2	0,00	840000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	840000,00
<i>Rhabdoderma</i> sp	1160000,00	820000,00	380000,00	180000,00	700000,00	560000,00	3800000,00
<i>Microcystis</i> sp1	320000,00	2780000,00	4300000,00	5780000,00	340000,00	260000,00	13780000,00
<i>Microcystis</i> sp2	0,00	4560000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4560000,00
<i>Euglena</i> sp1	40000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40000,00
<i>Euglena</i> sp2	0,00	0,00	20000,00	0,00	40000,00	60000,00	120000,00
<i>Euglena</i> sp3	0,00	40000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40000,00
<i>Navicula</i> sp1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100000,00	100000,00
<i>Cyclotella</i> sp	6380000,00	14120000,00	7360000,00	3820000,00	380000,00	2660000,00	34720000,00
<i>Aulacoseira</i> sp1	0,00	1040000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1040000,00
<i>Isthmochloron</i> sp	60000,00	40000,00	60000,00	0,00	20000,00	0,00	180000,00
<i>Goniochloris</i> sp	0,00	0,00	0,00	60000,00	140000,00	0,00	200000,00
<b>Total</b>	<b>10880000,00</b>	<b>26920000,00</b>	<b>12380000,00</b>	<b>10020000,00</b>	<b>3320000,00</b>	<b>5040000,00</b>	<b>68560000,00</b>

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

**Tabla 18. Abundancia relativa (%) de las morfoespecies de fitoplancton en la Ciénaga Convento.**

Morfoespecie	Abundancia relativa (%)					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
<i>Desmodesmus</i> sp1	0,55	0,37	0,00	0,60	0,00	0,79



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

OT 8933-3-4-A-7038-  
B-

Versión: 00

Página 67 de 139

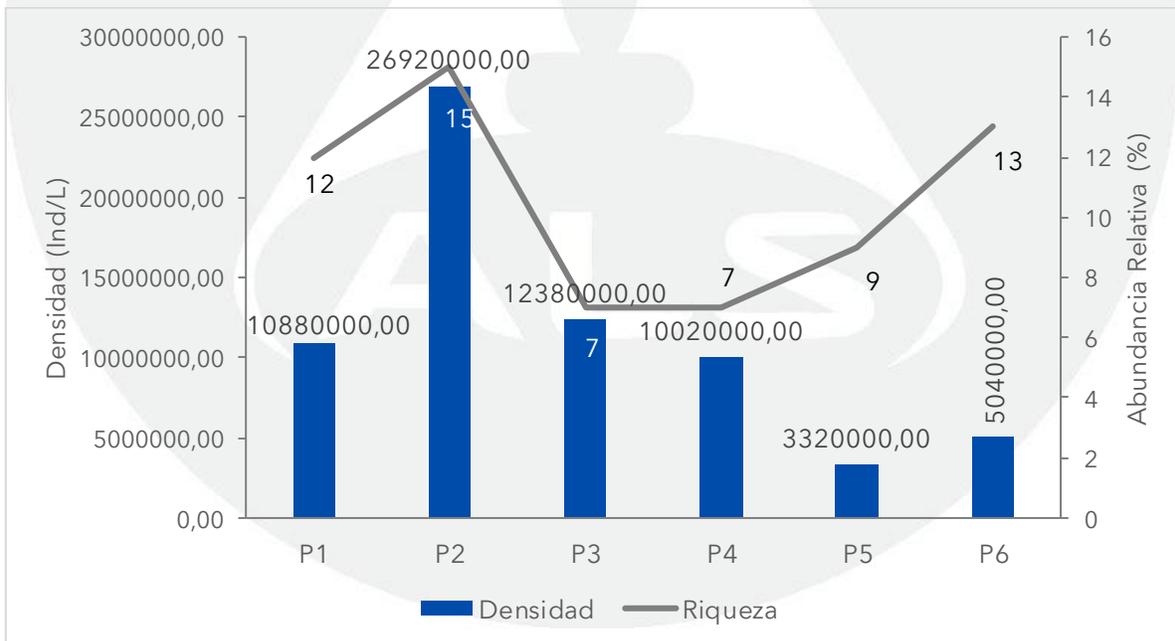
Morfoespecie	Abundancia relativa (%)					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
<i>Desmodesmus</i> sp2	1,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79
<i>Pectinodesmus pectinatus</i>	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,79
<i>Tetrastrum</i> sp	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79
<i>Coelastrum</i> sp1	0,00	0,22	0,00	0,00	1,20	1,19
<i>Pediastrum duplex</i>	1,10	0,59	0,65	0,60	47,59	7,94
<i>Staurastrum</i> sp1	0,37	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Oscillatoria</i> sp1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79
<i>Planktothrix</i> sp	21,51	1,34	1,45	0,60	2,41	14,68
<i>Aphanocapsa</i> sp1	1,47	6,91	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Aphanocapsa</i> sp2	0,00	3,12	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Rhabdoderma</i> sp	10,66	3,05	3,07	1,80	21,08	11,11
<i>Microcystis</i> sp1	2,94	10,33	34,73	57,68	10,24	5,16
<i>Microcystis</i> sp2	0,00	16,94	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Euglena</i> sp1	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Euglena</i> sp2	0,00	0,00	0,16	0,00	1,20	1,19
<i>Euglena</i> sp3	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Navicula</i> sp1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,98
<i>Cyclotella</i> sp	58,64	52,45	59,45	38,12	11,45	52,78
<i>Aulacoseira</i> sp1	0,00	3,86	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Isthmochloron</i> sp	0,55	0,15	0,48	0,00	0,60	0,00
<i>Goniochloris</i> sp	0,00	0,00	0,00	0,60	4,22	0,00
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

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



El fitoplancton obtuvo una densidad total de 68560000,00 Ind/L y esta fue mayor en el punto "P2" donde reportó 26920000,00 Ind/L. En cuanto a la riqueza, varió entre 7-15 morfoespecies, y su valor máximo fue consistente con el de la densidad (**Gráfica 19**).

Las variaciones en la composición fitoplanctónica a nivel espacial tienden a ser comunes en poblaciones naturales de este tipo, dado que cada grupo biológico cuenta con características ecofisiológicas que los hace exitosos en determinadas condiciones ambientales (Darley, 1991). Asimismo, Shiah *et al.*, (1996), resalta que, la estructura de las poblaciones de fitoplancton es dinámica, es decir, la abundancia y composición dependen de una serie de factores físicos e hidrológicos (luz, temperatura, turbulencia, tiempo de residencia del agua y tasa de sedimentación del plancton), químicos (nutrientes, materia orgánica, y mineralización) y biológicos (depredación, parasitismo fúngico), por lo cual, factores particulares en el punto de monitoreo "P2", pueden estar condicionando un fitoplancton compuesto con un mayor número de individuos.



**Gráfica 19. Densidad (Ind/L) y Riqueza (No. morfoespecies) de la comunidad fitoplanctónica en la Ciénaga Convento.**

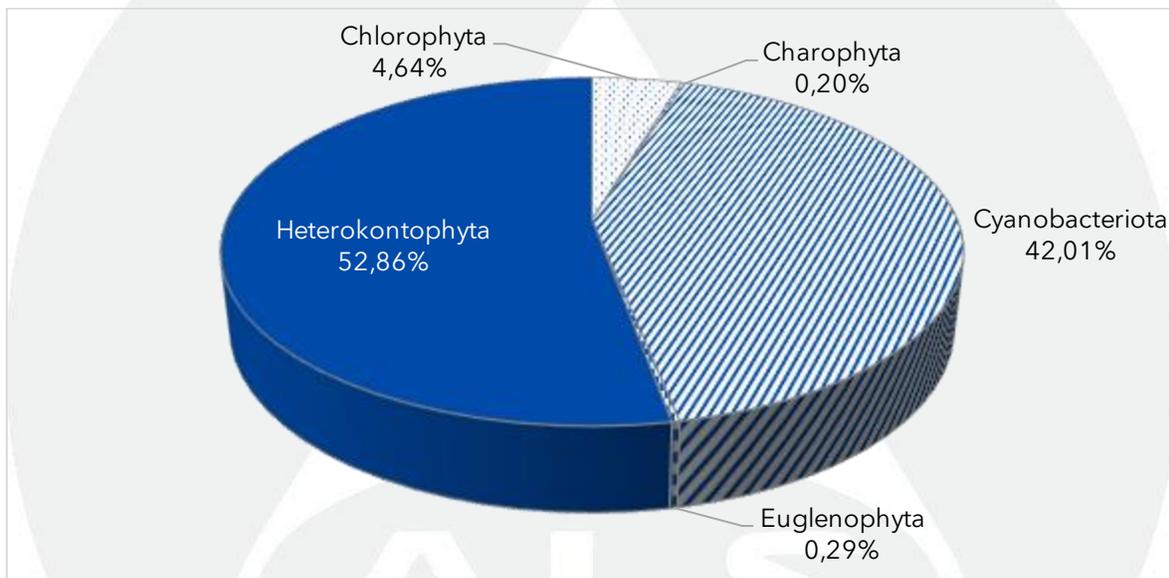
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.





En cuanto a la contribución de las divisiones de fitoplancton a la densidad total, se observó que la división Heterokontophyta obtuvo el 52,86% de proporción, seguido de Cyanobacteriota (42,01%), Chlorophyta (4,64%), Euglenophyta (0,29%) y Charophyta (0,20%) (**Gráfica 20**).

Heterokontophyta esta división comprende a las algas pardo-doradas, verde-amarillentas y amarillas. la mayoría planctónicas, de agua dulce o salada, algunos habitan suelos húmedos (Cabral & Vallejos, 2014).

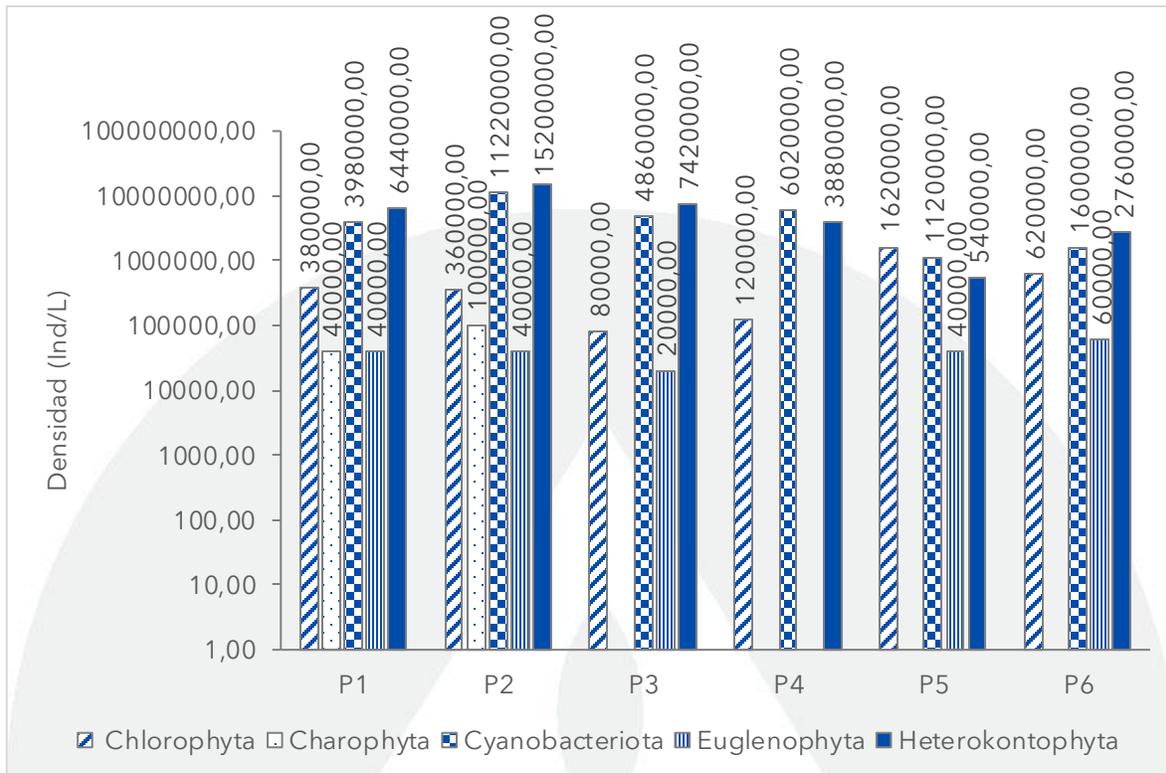


**Gráfica 20. Contribución porcentual a la densidad total de las divisiones fitoplanctónicas registradas en la Ciénaga Convento.**

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

A nivel espacial, las morfoespecies de las divisiones Heterokontophyta, Cyanobacteriota y Charophyta dominaron las densidades en el punto "P2" con 15200000,00 Ind/L, 11220000,00 Ind/L y 100000,00 Ind/L. Por su parte Euglenophyta reportó su mayor aporte en el punto "P6" con 60000,00 Ind/L. Finalmente, Chlorophyta realizó su mayor aporte en el punto "P5" con 1620000,00 Ind/L (**Gráfica 21**).





**Gráfica 21. Contribución a la densidad total de las divisiones fitoplanctónicas registradas en la Ciénaga Convento por punto de monitoreo.**

\*: Los datos presentados en la gráfica se encuentran en escala logarítmica  
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.

Los índices ecológicos constituyen herramientas que permiten estudiar de forma cuantitativa las interacciones de las comunidades biológicas, las cuales junto con las condiciones físicoquímicas modelan la diversidad y distribución de los organismos en los ecosistemas. Considerando que uno de sus objetivos es determinar la diversidad de las comunidades, para calcularlos es necesario contar con más de cinco especies (taxón) por comunidad, ya que, de acuerdo con las propiedades emergentes típicas de cada nivel de organización ecológico, una comunidad está compuesta y definida por más de una especie (población) (Curtis *et al.*, 2008).

El índice de Shannon-Wiener obtuvo valores entre 0,88 y 1,59, siendo máximo en el punto "P6"; los valores inferiores a dos (2) de este índice, se relacionan con sistemas de diversidad relativamente baja, ya que la presencia de una gran variedad de individuos



está directamente relacionada con la disponibilidad y amplitud de los recursos (Roldán y Ramírez, 2008); valores superiores a dos (2) indican sistemas con una mayor riqueza que permiten el establecimiento de un mayor número y variedad de individuos mediante su vasta oferta de recursos.

La uniformidad obtuvo valores bajos-medios de 0,45 a 0,69, siendo máximo en el punto "P5" que se relacionan con las densidades de la morfoespecie *Cyclotella sp*, las cuales fueron significativamente superiores al resto de las morfoespecies en el ensamblaje fitoplanctónico. La dominancia de Simpson (Dominance\_D) obtuvo valores medios, lo anterior se encuentra explicado por las densidades de las morfoespecies antes mencionadas, demostrando así la conceptualidad inversa de este índice con el de uniformidad.

El índice de Margalef registró valores inferiores a dos (2). Según Margalef (1983) estos valores hacen referencia a ecosistemas con riqueza baja, lo cual se puede relacionar con la cantidad de individuos distribuidos en un número determinado de morfoespecies (**Tabla 19**).

**Tabla 19. Índices ecológicos aplicados a la comunidad fitoplanctónica.**

Indices	Taxa_S	Individuals	Dominance_D	Shannon_H	Margalef	Equitability_J
P1	12	10880000,00	0,40	1,28	0,68	0,51
P2	15	26920000,00	0,32	1,57	0,82	0,58
P3	7	12380000,00	0,48	0,91	0,37	0,47
P4	7	10020000,00	0,48	0,88	0,37	0,45
P5	9	3320000,00	0,30	1,52	0,53	0,69
P6	13	5040000,00	0,32	1,59	0,78	0,62

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





A continuación, en la **Tabla 20**, se presenta el registro fotográfico de algunas de las morfoespecies observadas en la Ciénaga Convento:

**Tabla 20. Registro fotográfico de algunas de las morfoespecies observadas.**

		
<b>Cyclotella sp</b>	<b>Navicula sp1</b>	<b>Microcystis sp2</b>
		
<b>Aphanocapsa sp1</b>	<b>Aphanocapsa sp2</b>	<b>Staurastrum sp1</b>

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





### 4.3.2 Zooplancton

El zooplancton está constituido por especies animales que se encuentran asociados a ecosistema pelágico marino. Se caracterizan por ejercer un control efectivo en el patrón de abundancia del fitoplancton y a la vez constituir una parte importante del alimento de diversos organismos del plancton, necton y aves marinas. Es por esto por lo que, el zooplancton representa un componente importante en las redes tróficas de los ecosistemas pelágicos, transfiriendo gran parte de la energía fijada por los productores primarios hacia los niveles tróficos superiores (Márquez et al., 2018).

La comunidad zooplanctónica en la ciénaga El convento estuvo conformada por diez (10) morfoespecies, vinculadas a tres (3) phylas, cinco (5) clases, cinco (5) órdenes con dos (2) no determinados y cinco (5) familias con tres (3) no determinadas y cuya clasificación taxonómica se encuentra relacionada con la **Tabla 21**.

**Tabla 21. Clasificación taxonómica de las morfoespecies de zooplancton observadas en la ciénaga El convento.**

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Arthropoda	Branchiopoda	Diplostraca	Daphniidae	<i>Ceriodaphnia</i> sp
			Sididae	<i>Diaphanosoma</i> sp
	Maxillopoda	Calanoida	-	Calanoida morfo 1
		-	-	Larva nauplio morfo 1
	Ostracoda	-	-	Ostracoda morfo 1
				Ostracoda morfo 2
Protozoa	Lobosa	Arcellinida	Centropyxidae	<i>Centropyxis</i> sp
Rotifera	Eurotatoria	Flosculariaceae	Filiniidae	<i>Filinia longiseta</i>
		Ploima	Brachionidae	<i>Brachionus calyciflorus</i>
				<i>Brachionus caudatus</i>
<b>3</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>10</b>

-: jerarquía taxonómica no determinada

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

Las morfoespecies más abundantes fueron *Diaphanosoma* sp y Calanoida morfo 1 con densidades máximas de 889,67 Ind/L y 436,33 Ind/L; mientras que, la morfoespecie de menor densidad fue *Centropyxis* sp con 14,17 Ind/L (**Tabla 22**).

Las especies del género *Diaphanosoma* son un importante componente de la comunidad zooplanctónica de los sistemas acuáticos epicontinentales. Estos organismos se encuentran en todos los sistemas continentales, desde latitudes tropicales hasta las



regiones boreales. Por otro lado, los organismos del orden Calonoida, se caracterizan por su capacidad para ocupar hábitats diferentes, debido a un patrón corporal general que consiste en el desarrollado de modificaciones estructurales, fisiológicas y de comportamiento, además sus larvas nauplios poseen un alto potencial de dispersión y mecanismos adaptativos que le permiten una colonización expansiva en sistemas someros (Dole-Olivier *et al.*, 2000).

**Tabla 22. Densidad (Ind/L) de las morfoespecies de Zooplancton en la ciénaga El Convento.**

Morfoespecie	Densidad (Ind/L)						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total
<i>Brachionus calyciflorus</i>	53,83	8,50	0,00	34,00	198,33	39,67	334,33
<i>Brachionus caudatus</i>	14,17	0,00	22,67	25,50	0,00	25,50	87,84
Calanoida morfo 1	76,50	17,00	31,17	138,83	93,50	79,33	436,33
<i>Centropyxis</i> sp	0,00	0,00	0,00	5,67	0,00	8,50	14,17
<i>Ceriodaphnia</i> sp	17,00	0,00	0,00	19,83	65,17	34,00	136,00
<i>Diaphanosoma</i> sp	96,33	79,33	73,67	158,67	368,33	113,33	889,66
<i>Filinia longiseta</i>	34,00	2,83	5,67	59,50	8,50	17,00	127,50
Larva nauplio morfo 1	28,33	85,00	73,67	82,17	113,33	36,83	419,33
Ostracoda morfo 1	5,67	0,00	8,50	8,50	51,00	25,50	99,17
Ostracoda morfo 2	22,67	5,67	0,00	0,00	0,00	5,67	34,01
<b>Total</b>	<b>348,5</b>	<b>198,33</b>	<b>215,33</b>	<b>532,67</b>	<b>898,17</b>	<b>385,33</b>	<b>2578,33</b>

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

**Tabla 23. Abundancia relativa (%) de las morfoespecies de Zooplancton en la ciénaga el Convento.**

Morfoespecie	Abundancia relativa (%)					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
<i>Brachionus calyciflorus</i>	15,45	4,29	0,00	6,38	22,08	10,29
<i>Brachionus caudatus</i>	4,07	0,00	10,53	4,79	0,00	6,62
Calanoida morfo 1	21,95	8,57	14,47	26,06	10,41	20,59
<i>Centropyxis</i> sp	0,00	0,00	0,00	1,06	0,00	2,21
<i>Ceriodaphnia</i> sp	4,88	0,00	0,00	3,72	7,26	8,82
<i>Diaphanosoma</i> sp	27,64	40,00	34,21	29,79	41,01	29,41
<i>Filinia longiseta</i>	9,76	1,43	2,63	11,17	0,95	4,41
Larva nauplio morfo 1	8,13	42,86	34,21	15,43	12,62	9,56
Ostracoda morfo 1	1,63	0,00	3,95	1,60	5,68	6,62
Ostracoda morfo 2	6,50	2,86	0,00	0,00	0,00	1,47
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

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

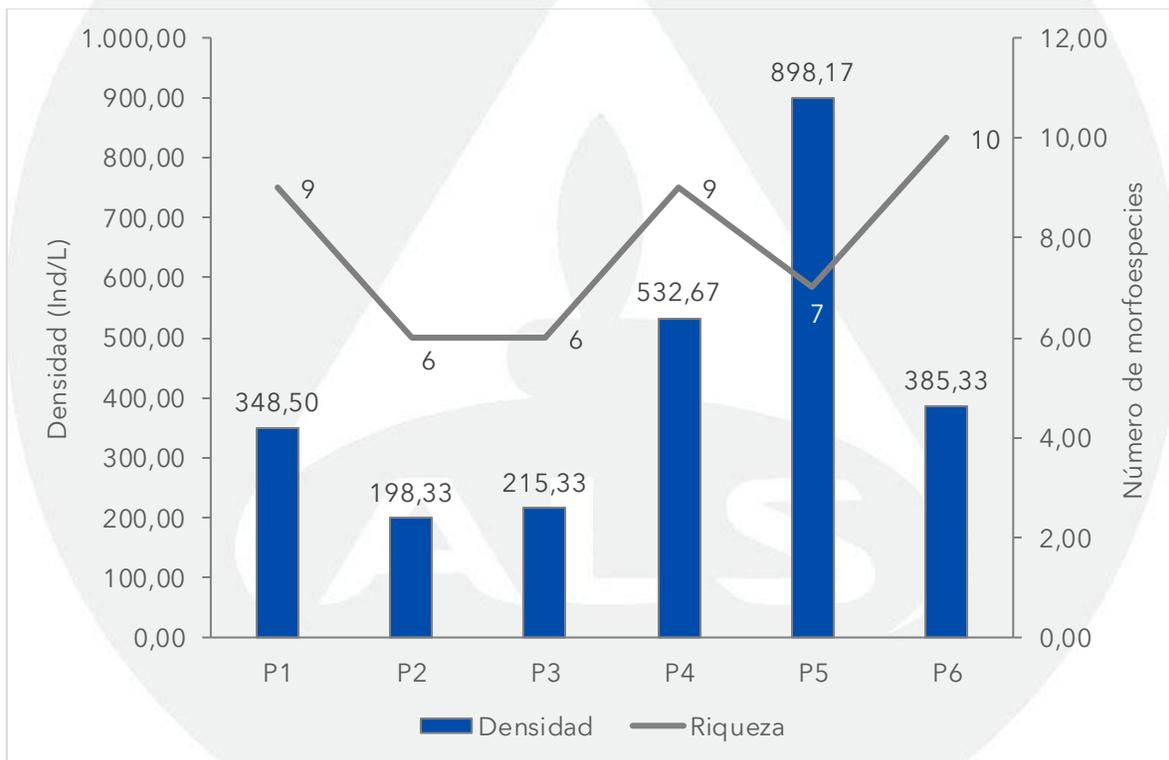
El zooplancton en la ciénaga el Convento reportó una densidad total de 2578,33 Ind/L, su mayor valor en el punto de monitoreo P5 con 898,17 Ind/L; seguido del P4 con 532,67 Ind/L, los valores más bajos se presentaron en P2 y P3 con 198,33 y 215,53 Ind/L. En





cuanto a la riqueza presentó el valor más alto en P6 con 10 morfoespecies seguido de P1 y P4 con 9 morfoespecies, los valores más bajos se presentaron en P2 y P3 con 6 morfoespecies (**Gráfica 22**).

De acuerdo con Ricklefs (1990) los arreglos comunitarios no son consecuencia del azar, sino que existen mecanismos que actúan sobre los ecosistemas, produciendo patrones u ordenamientos particulares. En este sentido, podemos decir que entre los puntos de muestreo existe un diferencial entre las condiciones fisicoquímicas y de recursos tróficos que favorecen una comunidad zooplanctónica mayormente estructurada.



**Gráfica 22. Densidad (Ind/L) y Riqueza (No. Morfoespecies) de la comunidad de zooplancton en la ciénaga el Convento.**

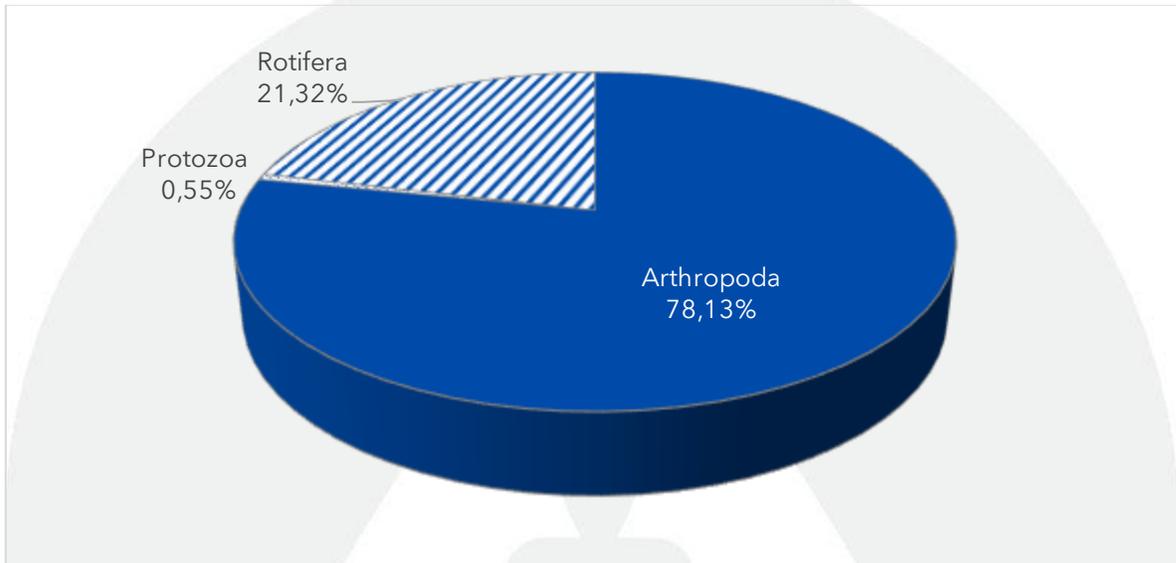
*Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.*

Las contribuciones a la densidad total estuvieron dominadas por el phylum Artrópoda, el cual obtuvo una representatividad del 78,13%, seguido de Rotífera con 21,32% y Protozoa (0,55%) (**Gráfica 23**).





El phylum Arthropoda se caracteriza por ser el más abundante y diverso del reino animal, esto se debe a que han logrado desarrollar estrategias para adaptarse a diversos tipos de ambientes, estas estrategias incluyen: pequeño tamaño, alta tasa reproductiva, exoesqueleto endurecido, entre otras. Los crustáceos son un componente importante del zooplancton (Lagos et a., 2014).

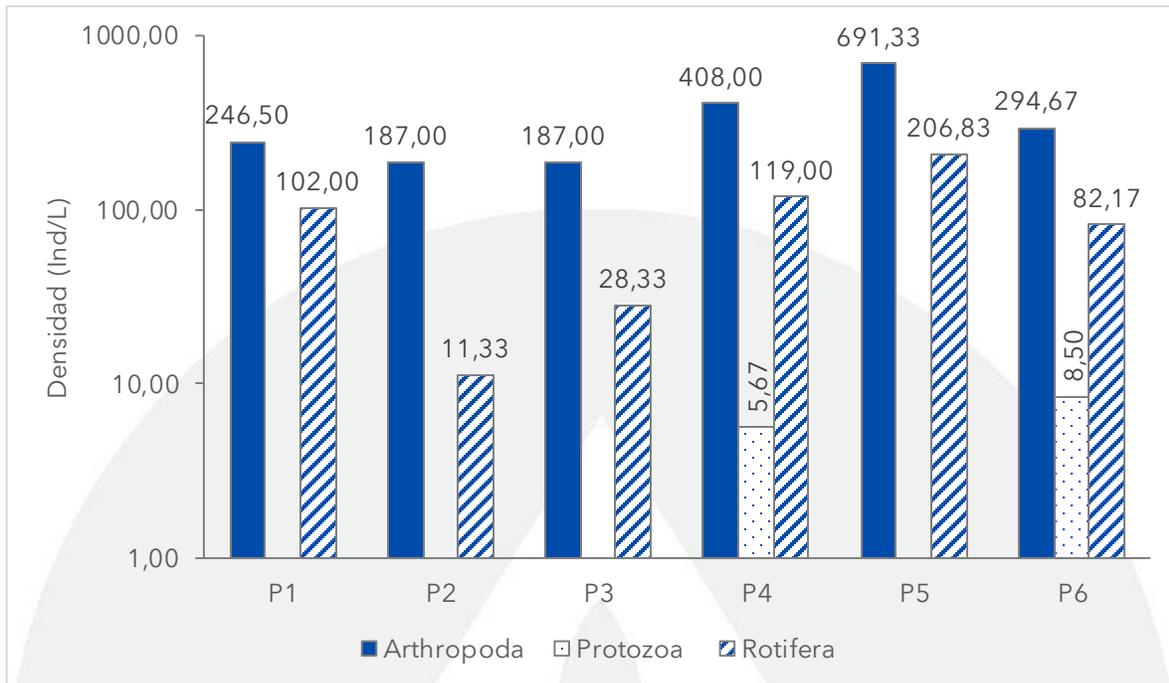


**Gráfica 23. Contribución porcentual de la densidad total de los phylum zooplanctónicos en la ciénaga El Convento.**

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

A nivel espacial, el phylum Artrópoda continuó con su patrón de dominancia en los puntos de monitoreo, estando mejor representado en P5 donde obtuvo 691,33 Ind/L seguido de P4 con 408,00 Ind/L, los valores más bajos se presentaron en P2 y P3 con 187,00 Ind/L cada uno. Para el caso del phylum Rotífera el valor más alto se reportó en P5 con 206,83 Ind/L y el más bajo en P2 con 11,33 Ind/L. Por último, el phylum Protozoa presentó contribuciones bajas y solo se reportó en dos puntos P4 y P6 con 5,67 y 8,50 respectivamente (**Gráfica 24**).





**Gráfica 24. Contribución a la densidad total de los phyla en los puntos de monitoreo en la ciénaga el Convento.**

\*: Los datos presentados en la gráfica se encuentran en escala logarítmica  
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S.,2023.

Los índices ecológicos constituyen herramientas que permiten estudiar de forma cuantitativa las interacciones de las comunidades biológicas, las cuales junto con las condiciones fisicoquímicas modelan la diversidad y distribución de los organismos en los ecosistemas. Considerando que uno de sus objetivos es determinar la diversidad de las comunidades, para calcularlos es necesario contar con más de cinco especies (taxón) por comunidad, ya que, de acuerdo con las propiedades emergentes típicas de cada nivel de organización ecológico, una comunidad está compuesta y definida por más de una especie (población) (Curtis et al., 2008).

El índice de Shannon-Wiener obtuvo valores entre 1,24 y 2,00, siendo máximo en el punto "P6"; los valores inferiores a dos (2) de este índice, se relacionan con sistemas de diversidad relativamente baja, ya que la presencia de una gran variedad de individuos está directamente relacionada con la disponibilidad y amplitud de los recursos (Roldán y





Ramírez, 2008); valores superiores a dos (2) indican sistemas con una mayor riqueza que permiten el establecimiento de un mayor número y variedad de individuos mediante su vasta oferta de recursos.

La uniformidad obtuvo valores medios-altos de 0,69 a 0,88, siendo máximo en el punto "P1". La dominancia de Simpson (Dominance\_D) obtuvo valores bajos entre 0,17 y 0,35, lo anterior se encuentra explicado por la concepción inversa de este índice con el de uniformidad.

El índice de Margalef registró valores inferiores a dos (2). Según Margalef (1983) estos valores hacen referencia a ecosistemas con riqueza baja, lo cual se puede relacionar con la cantidad de individuos distribuidos en un número determinado de morfoespecies (**Tabla 24**).

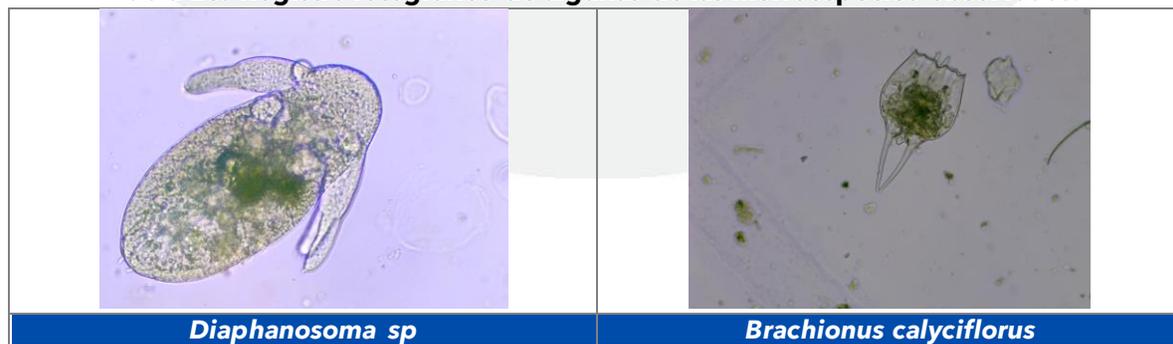
**Tabla 24. Índices ecológicos aplicados a la comunidad de zooplancton en la ciénaga El Convento.**

Índice	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Taxa_S	9,00	6,00	6,00	9,00	7,00	10,00
Individuals	123,00	70,00	76,00	188,00	317,00	136,00
Dominance_D	0,17	0,35	0,27	0,20	0,25	0,17
Shannon_H	1,93	1,24	1,47	1,80	1,59	2,00
Margalef	1,37	0,95	0,93	1,27	0,88	1,51
Equitability_J	0,88	0,69	0,82	0,82	0,82	0,87

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

A continuación, en la **Tabla 25**, se presenta el registro fotográfico de algunas de las morfoespecies observadas en la Ciénaga Convento:

**Tabla 25. Registro fotográfico de algunas de las morfoespecies observadas.**



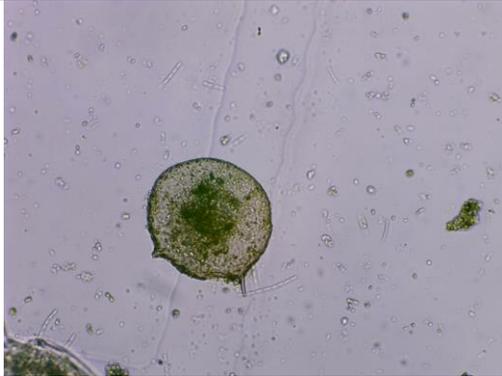


**INFORME TÉCNICO DE ESTUDIO DE  
CARACTERIZACIÓN DE AGUA  
SUPERFICIAL Y COMUNIDADES  
HIDROBIOLÓGICAS**

OT 8933-3-4-A-7038-  
B-

Versión: 00

Página 79 de 139

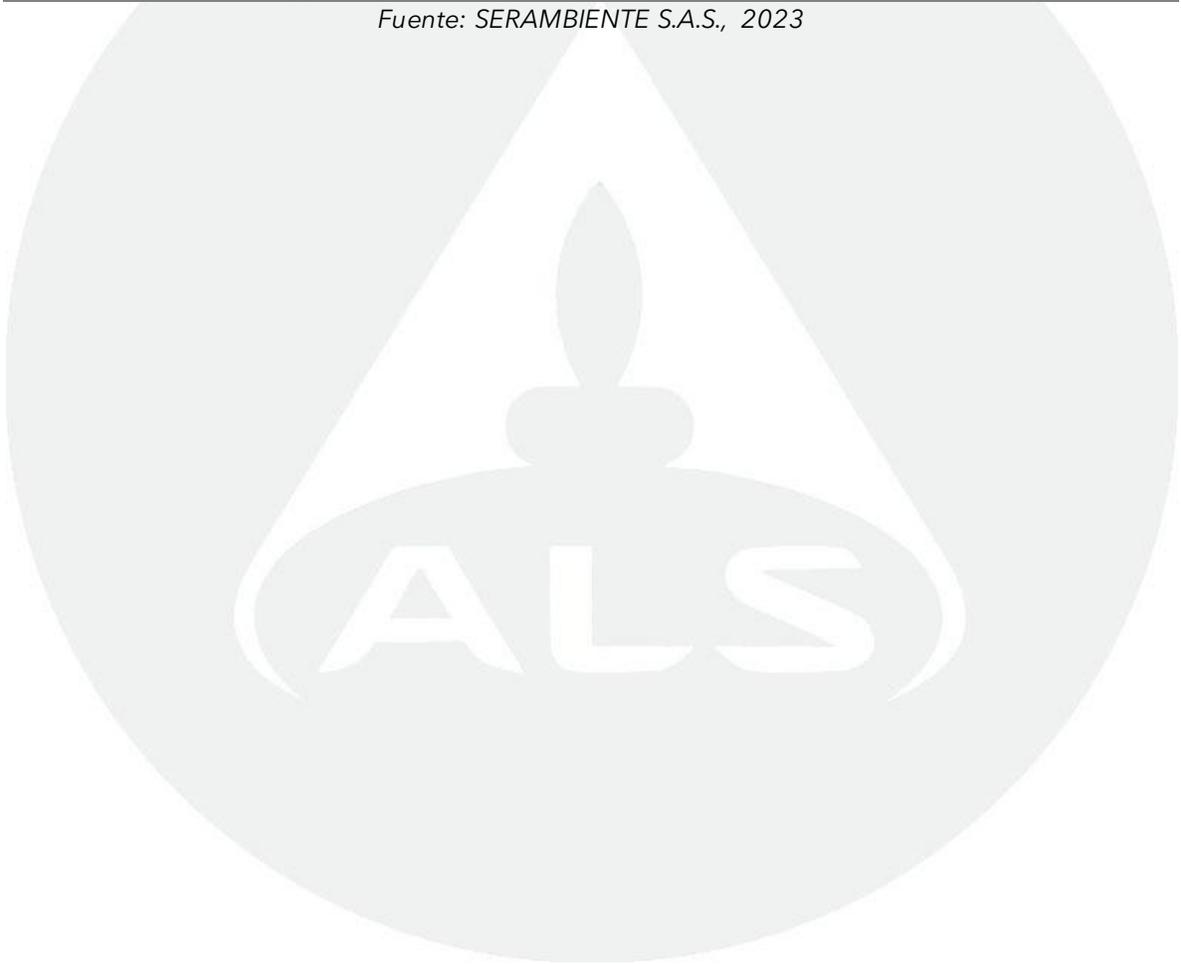


**Centropyxis sp**



**Ostracoda morfo 1**

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023



**SERambiente**<sup>®</sup>  
Servicios de Ingeniería Ambiental

part of  
**ALS Limited**



### 4.3.3 Perifiton

El perifiton es considerado como un biofilm o bioderma de variable espesor, de aspecto viscoso y variada tonalidad, constituido por una compleja mezcla de microalgas (vivas y muertas), bacterias, hongos, partículas de calcita (producto de algunas algas) y sedimentos inorgánicos consolidados por una matriz mucilaginosa producida por algas y bacterias (Burkholder, 1996). Constituye un componente fundamental de las comunidades bióticas de los sistemas acuáticos donde su nicho ecológico recae en los procesos de transferencia de energía, materia e información a través de las cadenas tróficas. "Su estudio es importante tanto desde la perspectiva ecológica, para comprender el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, como desde el punto de vista ambiental, pues su composición y estructura pueden servir como indicadores de la calidad del agua y de procesos que, como la contaminación, puedan estar afectando a los ecosistemas" (Montoya & Aguirre 2013). Las algas constituyen la mayor parte del perifiton (Moschini *et al.*, 2001), estas son los productores dominantes en ecosistemas fluviales de orden inferior tales como arroyos o tributarios.

A pesar del esfuerzo de muestreo no se reportaron morfoespecies de perifiton en la Ciénaga Convento, el desarrollo de las algas del perifiton depende de factores abióticos y bióticos que regulan el funcionamiento de sus componentes, la comunidad es cambiantes por la interacción dinámica de varios factores tales como la disponibilidad de la luz, estado trófico, temperatura, fluctuaciones hidrológicas, interacción con el sustrato, entre otros. La luz y la temperatura son factores importantes para el desarrollo de la comunidad perifítica. En la naturaleza ambos factores varían en forma concomitante, aunque la influencia de la luz se manifiesta en la longitud del período de fotosíntesis y la temperatura influye como factor acumulativo o de pérdida gradual, debido a la elevada inercia térmica que posee el cuerpo de agua. La disponibilidad de espacio para colonizar es esencial para el perifiton y afecta la productividad de la comunidad. Las comunidades adheridas a superficies con área de colonización fija (rocas, granos de arena) pueden estar limitadas por espacio, si el resto de los factores se hallan en condiciones óptimas (Wetzel, 2001).





#### 4.3.4 Macroinvertebrados bentónicos

Los macroinvertebrados bentónicos comprenden un grupo de organismos con tamaños a partir de 1 mm, que tienen una relación directa con los bentos de los sistemas acuáticos, lo que da como resultado una cierta uniformidad en sus formas de vida, a pesar de sus distintos orígenes filogenéticos. Desempeñan un papel ecológico clave en los sistemas acuáticos que son en gran medida responsables de la productividad de estos sistemas. Como elemento central de las redes tróficas, favorecen la descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y la transferencia de energía (Day et al., 1989).

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga El Convento estuvo conformada por cuatro (4) morfoespecies vinculadas a un (1) phylum, dos (2) clases, cuatro (4) órdenes y cuatro (4) familias, cuya clasificación taxonómica se encuentra relacionada en la **Tabla 26**.

**Tabla 26. Clasificación de las morfoespecies de macroinvertebrados bentónicos observadas en la ciénaga El Convento.**

Phylum	Clase	Orden	Familia	Morfoespecie
Mollusca	Bivalvia	Venerida	Cyrenidae	<i>Corbicula sp</i>
	Gastropoda	Ampullariida	Ampullariidae	<i>Marisa cornuarietis</i>
		Cerithiida	Thiaridae	<i>Melanoides tuberculatus</i>
		Lymnaeida	Planorbidae	<i>Drepanotrema sp</i>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

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

Las morfoespecies de mayor abundancia en la ciénaga fueron *Melanoides tuberculatus* y *Corbicula sp*, con densidades totales de 196,67 Ind/m<sup>2</sup> y 94,44 Ind/m<sup>2</sup> respectivamente; mientras que la especie *Marisa cornuarietis* registró la menor densidad con 1,11 Ind/m<sup>2</sup>, la primera registró su mayor aporte en P4 con 60,00 Ind/m<sup>2</sup>; mientras que *Corbicula sp* lo obtuvo en P3 con 56,67 Ind/m<sup>2</sup> (**Tabla 27**).

*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). Por su parte las especies del género *Corbicula* se alimentan de detritus orgánico y según Franco y León-Luna (2010) acumula trazas significativas de metales como cadmio y zinc.

**Tabla 27. Densidad (Ind/m<sup>2</sup>) de las morfoespecies de Macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga El Convento.**

Morfoespecie	Densidad (Ind/m <sup>2</sup> )						Total
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	
<i>Corbicula sp</i>	0,00	2,22	56,67	35,56	0,00	0,00	94,44
<i>Drepanotrema sp</i>	0,00	0,00	4,44	3,33	0,00	0,00	7,78
<i>Marisa cornuarietis</i>	0,00	1,11	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11
<i>Melanoides tuberculatus</i>	17,78	41,11	26,67	60,00	34,44	16,67	196,67
<b>Total</b>	<b>17,78</b>	<b>44,44</b>	<b>87,78</b>	<b>98,89</b>	<b>34,44</b>	<b>16,67</b>	<b>300,00</b>

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

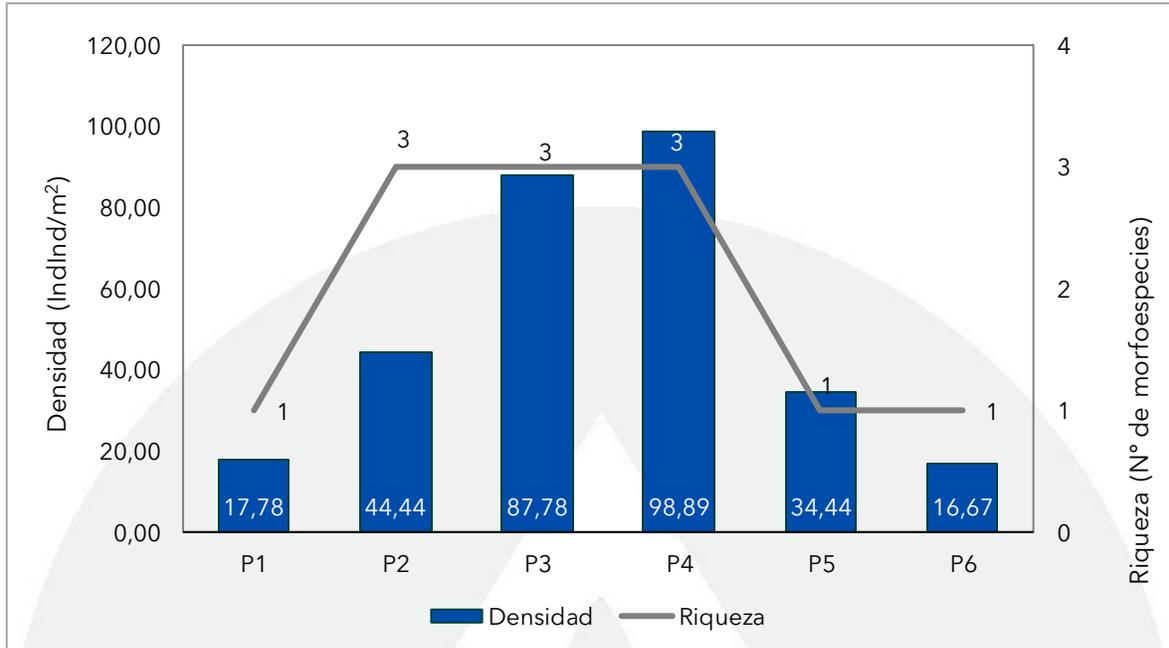
**Tabla 28. Abundancia relativa (%) de las morfoespecies de Macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga El Convento.**

Morfoespecie	Abundancia relativa (%)					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
<i>Corbicula sp</i>	0,00	5,00	64,56	35,96	0,00	0,00
<i>Drepanotrema sp</i>	0,00	0,00	5,06	3,37	0,00	0,00
<i>Marisa cornuarietis</i>	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Melanoides tuberculatus</i>	100,00	92,50	30,38	60,67	100,00	100,00
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

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

La ciénaga El Convento presentó una densidad total de 300,00 Ind/m<sup>2</sup>; el punto de monitoreo con densidad más alta fue P4 con 98,89 Ind/m<sup>2</sup>; mientras que P6 obtuvo el valor más bajo con 16,67 Ind/m<sup>2</sup>. En cuanto a la riqueza, presentó valores de 1-3 morfoespecies, reportando el valor mayor en los puntos de monitoreo P2, P3 y P4 (**Gráfica 25**). Estas variaciones espaciales observadas en la estructura y composición bentónica de la ciénaga atienden a los aportes diferenciales de *M.tuberculatus* y *Corbicula sp*, cuyas densidades fueron bastante heterogéneas entre los puntos monitoreados, además de que las demás morfoespecies del ensamblaje se asociaron con un bajo número de puntos de muestreo.



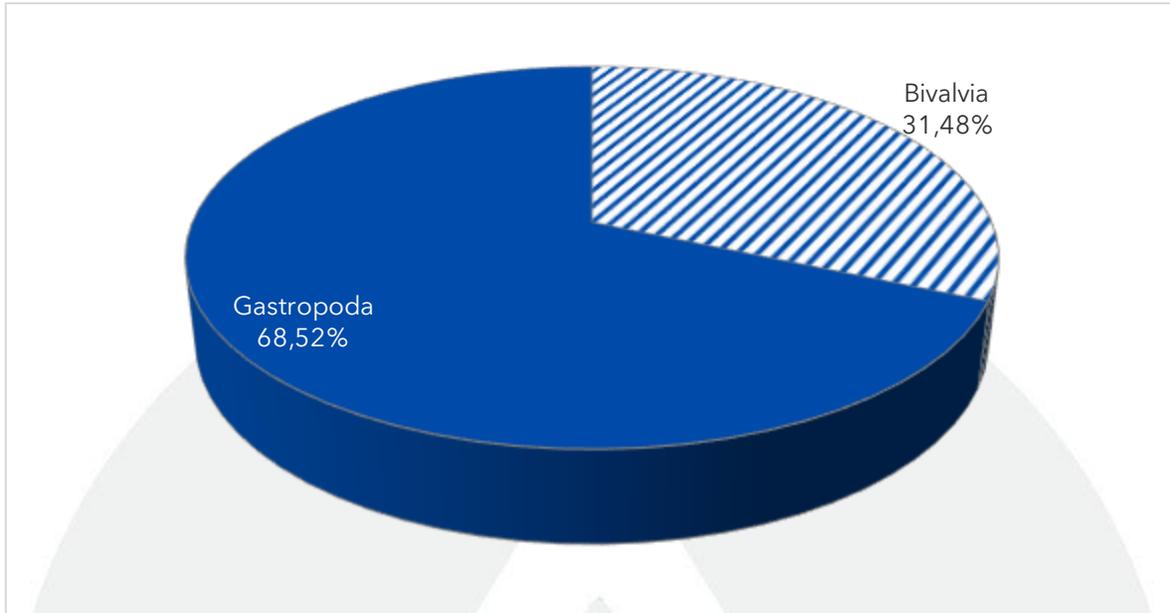


**Gráfica 25. Densidad (Ind/m<sup>2</sup>) y Riqueza (No. Morfoespecies) de la comunidad de Macroinvertebrados bentónicos en la ciénaga El Convento.**

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

La clase Gatropoda fue la más representativa en términos de densidad ya que contó con el 68,52% del valor total, seguido de Bivalvia con 31,48% (**Gráfica 26**). Este patrón de dominancia de moluscos es característico del bento de sistemas lenticos, puesto que en el quedan atrapados nutrientes y detritus que hacen parte del espectro trófico de este grupo, de esta manera se ven mayormente favorecidos. Adicionalmente, sus mecanismos de agregación y menor capacidad de movimiento a diferencia de otros grupos bentónicos facilitan una mayor probabilidad de encuentro.





**Gráfica 26. Contribución porcentual de las clases de Macroinvertebrados bentónicos a la densidad total en la ciénaga El Convento.**

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

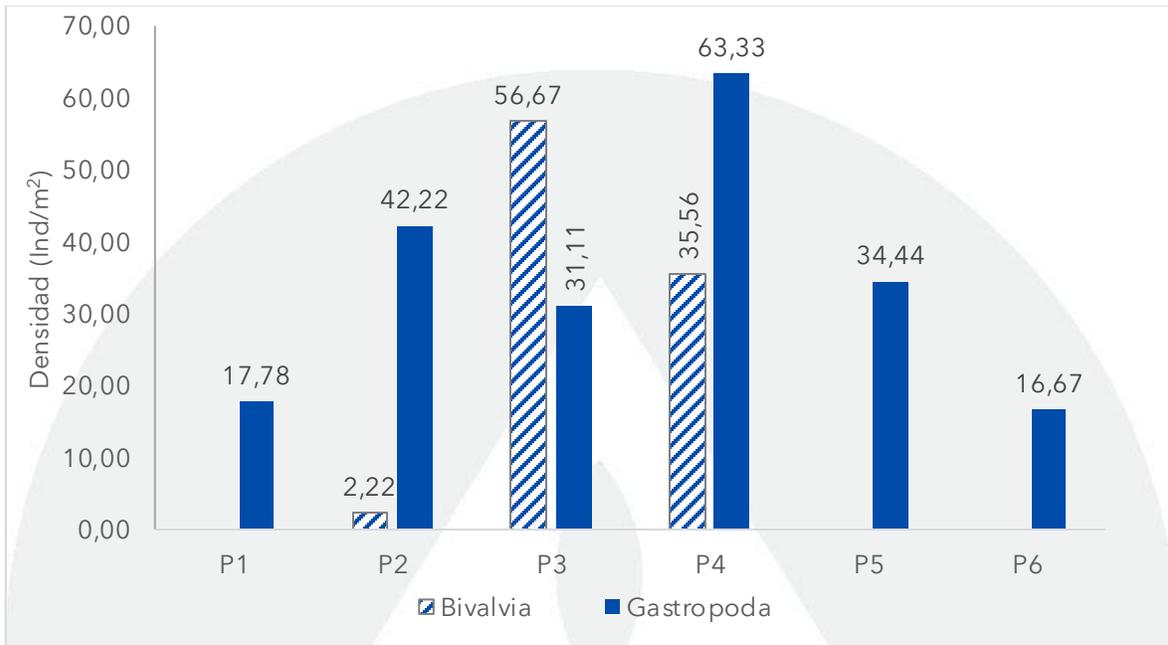
La densidad bentónica de la mayoría de los puntos muestreados estuvo caracterizada por aportes más altos de la clase Gasterópoda, la cual estuvo mejor representada en el punto P4, donde obtuvo 63,33 Ind/m<sup>2</sup>. En cuanto a Bivalvia, se observó en P2, P3 y P4 con un valor máximo de 56,67 Ind/m<sup>2</sup> en P3. (**Gráfica 27**).

Takamura et al. (2009) menciona que la distribución y composición de especies de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos que habitan sistemas lenticos están determinadas por factores bióticos y abióticos independientes o acumulativos a diferentes escalas espacio-temporales. Entre estos factores se encuentran las diferencias de sustrato (por ejemplo, piedra, grava, guijarros, arena, limo, plantas acuáticas o detritos leñosos), exposición al viento, presencia de algas filamentosas (Brodersen, 1995), contenido de oxígeno, altos niveles de nutrientes debido a la entrada de contaminantes orgánicos (Petridis, 1993) y profundidad del agua. Además de esto, las características ecofisiológicas de cada grupo poblacional son fundamentales en la estructuración de la fauna béntica ya que éstas tienden a variar a escalas de un ciclo anual, así pues, se pueden





obtener mayores densidades de un grupo determinado cuanto éste se encuentre en su pico de reproducción.



**Gráfica 27. Contribución I de las clases de Macroinvertebrados bentónicos a la densidad total por punto de monitoreo en la ciénaga El Convento.**

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

Dado que la riqueza (Taxa\_S) en los puntos de monitoreo 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. Del mismo modo, los índices BMWP/Col y ASTP/Col no fue calculado debido a que se debe contar con un número mínimo de cinco (5) familias reportadas para que este sea representativo



#### **4.3.5 Macrófitas acuáticas**

En el presente monitoreo no se reportaron macrófitas acuáticas en los puntos de monitoreo. Las macrófitas en los ecosistemas acuáticos y los humedales desempeñan varios roles esenciales en la salud y el funcionamiento de estos ecosistemas como la estabilización del suelo, apoyo en el ciclo de nutrientes, hábitats para fauna, filtración de agua, entre otros. Sin embargo, la investigación y la información sobre las macrófitas acuáticas a menudo son limitadas en comparación con otros aspectos de la ecología acuática. Es por esto que a nivel mundial se están llevando a cabo esfuerzos para comprender mejor estas plantas y su papel en los ecosistemas acuáticos. (Mitsch y Gosselink, 2015)

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. Además, existen otros factores físicos que podrían afectar adversamente la proliferación de las macrófitas, como la velocidad de las corrientes, ya que ésta tiende a impedir el asentamiento de semillas y de plantas flotantes libres, plantas con hojas flotantes y plantas emergentes, pero en este caso particular puede estar relacionado con la pérdida de suelo fértil producto de la explotación de recursos minerales (Canet & Camprubi, 2006)





#### **4.3.6 Peces**

Los peces constituyen la macrofauna acuática más importante debido a sus abundancias y se caracterizan por utilizar de manera programada en espacio y tiempo los diferentes hábitats disponibles. Además, al ser recursos pesqueros importantes generan muchos servicios ecosistémicos al regular la dinámica de redes tróficas, reciclar nutrientes, redistribuir sedimentos, regular flujos de carbono entre el agua y atmósfera, enlazar diferentes ecosistemas acuáticos, vincular ecosistemas acuáticos y terrestres, transportar nutrientes, carbono, minerales y en general energía y finalmente actuar como memoria ecológica. Se destaca que esta comunidad proporciona una fuente importante de alimento tanto por la pesca como por la acuicultura, producen compuestos activos utilizados en la medicina y participan en el control de enfermedades peligrosas, son fuente de valor estético y de actividades recreativas (Ayala-Pérez et al., 2015).

Pese al esfuerzo del monitoreo, no se reportaron organismos de comunidad íctica en el área de estudio. Es importante mencionar que los peces son organismos extremadamente sensibles a la cantidad de oxígeno disuelto en el sistema, y esta generalmente es una variable determinante en la presencia/ausencia de la comunidad íctica en un cuerpo de agua, lo que podría dar explicación debido a que el sistema registró una condición hipóxica en términos de oxígeno disuelto. Adicionalmente, existen otras variables como la turbidez del agua que afecta el ciclo reproductivo de los peces, los cuales en su mayoría se alimenta de ellos sedimentos. Adicionalmente, los peces son organismos que poseen una libre movilidad y esta condición les otorga la amplia capacidad de escapa disminuyendo la captura, lo que puede explicar la ausencia de la comunidad íctica en el área de estudio (Servindi, 2019).





## 4.4 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS CIENAGA EL CONVENTO

### 4.4.1 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 El Convento 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

#### 4.4.1.1 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 29**). Se escogieron las variables que presentaron frecuencia superior al 30% para realizar el diseño del ICA (**Tabla 30**).

**Tabla 29.** 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)





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

OT 8933-3-4-A-7038-  
B-

Versión: 00

Página 89 de 139

Índice	# de variables	País	Referencia
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)
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.



**SERambiente**<sup>®</sup>  
Servicios de Ingeniería Ambiental

part of  
**ALS Limited**



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

<b>Variables</b>	<b>Frecuencia relativa (%)</b>
SST	81,82
Oxígeno Disuelto	72,73
pH	72,73
Conductividad	72,73
Turbidez	36,36
DBO <sub>5</sub>	63,64
Dureza Total	45,45
Alcalinidad	45,45
Coliformes Totales	45,45
Fosfatos (PO <sub>4</sub> )	45,45
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	45,45

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

#### **4.4.1.2. 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 31**).

**Tabla 31. 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.
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).





<b>Norma</b>	<b>País</b>	<b># de variables</b>	<b>Usos o indicadores revisados</b>
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 32**





**Tabla 32. Parámetros mayormente controlados en la normativa nacional e internacional de calidad de aguas y frecuencia de aparición en las mismas.**

<b>Variables</b>	<b>Frecuencia relativa (%)</b>
Arsénico	93,33
Cobre	93,33
Cadmio	86,67
Mercurio	86,67
Plomo	86,67
pH	73,33
Oxígeno disuelto	66,67
Grasas y Aceites	60,00
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )	53,33
SAAM	53,33
SST	46,67
Coliformes Totales	46,67
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	40,00
DBO <sub>5</sub>	33,33

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

#### **4.4.1.3. Criterio estadístico.**

En el criterio estadístico, se analizaron un total de 34 variables fisicoquímicas, microbiológicas, metales pesados, pesticidas organoclorados y pesticidas organofosforados, obtenidas de los muestreos realizados en julio de 2023 en la ciénaga de El Convento.

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 23 variables del total de variables muestreadas; debido a que se descartaron aquellas que se encontraron por debajo del límite de detección. 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, 2023) y Past 4.04.

#### **4.4.2 Variables fisicoquímicas, microbiológicas, metales pesados, pesticidas organoclorados y organofosforados**

El pH, oxígeno disuelto, conductividad, temperatura y transparencia oscilaron en rangos estrechos en los puntos de muestreo; mientras que la dureza y coliformes variaron un poco más. Los valores de DBO variaron entre 28 y 32 mg O<sub>2</sub>/L; el DQO entre 77 y 88 mg O<sub>2</sub>/L; valores de detergentes (SAAM) entre 0,4 y 0,67 mg SAAM/L; la dureza total entre 75,3 y 110,7 mg CaCO<sub>3</sub>/L y los coliformes totales entre 45 y 130 NMP/100 ml. Los intervalos de todas las variables incluyen el mínimo (MIN), máximo (MAX), media y desviación estándar (DE) (**Tabla 33**).

**Tabla 33. Variables fisicoquímicas, microbiológicas, metales pesados, pesticidas organoclorados y organofosforados en la ciénaga El Convento.**

<b>Variable</b>	<b>Unidades</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Media</b>	<b>DE</b>
<b>FISICOQUÍMICO</b>					
pH	Unidades pH	7,40	7,43	7,41	0,002
Oxígeno disuelto	mg/L	2,2	2,7	2,51	0,07
Conductividad	µs/cm	356	332	329,8	2,48
Temperatura	°C	29,2	31,3	30,9	0,34
Transparencia	cm	30	33	31,1	1,32
Clorofila a *	mg/m <sup>3</sup> Clorofila a	<0,200			
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	28	32	30,6	1,74
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	77	80	78,6	1,21
Detergentes (SAAM)	mg SAAM/L	0,4	0,67	0,5	1,1
Dureza Cálctica	mg CaCO <sub>3</sub> /L	20,7	57	40,4	12,2
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	75,3	110,7	90,7	14,84
Fósforo reactivo Total (Fosfato)	mg P-PO <sub>4</sub> /L	< 0,05	0,09	0,075	0,01
Fósforo Total	mg P/L	0,18	0,35	0,26	0,05
Grasas y Aceites	mg/L	0,7	3	2,2	0,82
Hidrocarburos Totales	mg HT/L	0,6	1,2	0,96	0,26
Nitratos-Cl*	mg N-NO <sub>3</sub> -/L	< 0,3			
Nitritos *	mg N-NO <sub>2</sub> -/L	< 0,0050			





Variable	Unidades	Min	Max	Media	DE
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH <sub>3</sub> /L	0,2	1,1	0,65	0,30
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L	331	350	340,3	6,65
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50	79	63,5	9,61
Sulfatos-Cl	mg SO <sub>4</sub> /L	58	70	65,1	4,07
Sulfuros *	mg S <sub>2</sub> -L	<0,85			
<b>MICROBIOLÓGICO</b>					
Coliformes totales	NMP/100 ml	45	130	74	31,2
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	20	78	55,6	23,01
<i>Pseudomona aeruginosa</i>	NMP/100 ml	2	9,2	3,61	2,91
<b>METALES PESADOS</b>					
Arsénico total *	mg/L As	<0,01			
Cadmio total *	mg/L Cd	<0,0015			
Cromo total *	mg/L Cr	<0,01			
Cobre total *	mg/L Cu	<0,01			
Plomo total *	mg/L Pb	<0,008			
Mercurio total	mg/L Hg	< 0,001	0,002	0,001	0,0005
Zinc total	mg/L Zn	0,01	0,07	0,03	0,23
<b>PESTICIDAS ORGANOCLORADOS</b>					
Pesticidas Organoclorados Totales *	mg/L	<0,00004			
<b>PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS</b>					
Pesticidas Organofosforados Totales *	mg/L	<0,0004			

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

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

El análisis de componentes principales (PCA) de la ciénaga El Convento indicó que el componente principal 1 (CP 1) explica el 55% de la varianza total y el CP 2 explica un 34.3% adicional (**Gráfica 28**); los cuales representan el 89.3% de la varianza acumulada (**Tabla 34**). El PCA indica que en el CP 1 la relación más fuerte se presentó con el DBO, grasas y aceites, temperatura, los coliformes totales, pH, OD y conductividad (**Gráfica 29**) mientras que en el CP 2 la relación más fuerte fue con el DQO, la Dureza cálcica, Dureza total, Sulfato Cl, coliformes termotolerantes y *Pseudomona aeruginosa* (**Gráfica 30**). En la **Tabla 34** 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 29, Gráfica 30**) y los puntajes de las variables con respecto a los dos primeros

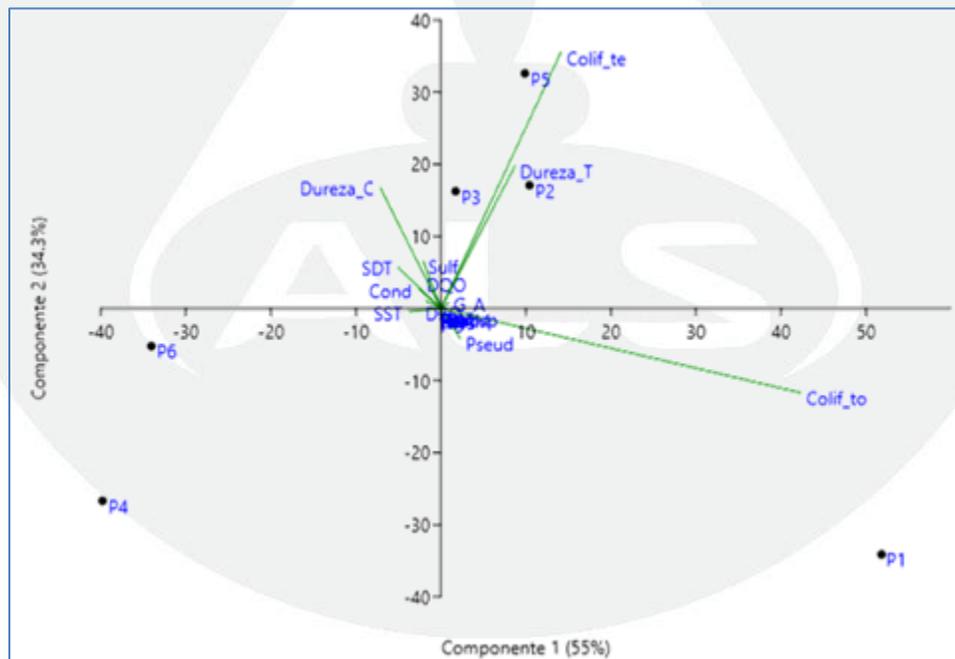


componentes (**Tabla 36**), se escogieron aquellas variables con mayor incidencia en el ACP; las cuales se asume, tienen una mayor capacidad de explicar los cambios de las condiciones ambientales y de calidad del agua en la ciénaga El Convento. La **Tabla 35** muestra la selección de variables con mayor 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 34. Eigenvalores y porcentaje de varianza del análisis de componentes principales (ACP).**

CP	Eigenvalue	% varianza
1	9,1	54,95
2	6	34,35
3	5	5,03
4	2	3,27
5	1	2,39

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



**Gráfica 28. Análisis de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas en la ciénaga El Convento.**

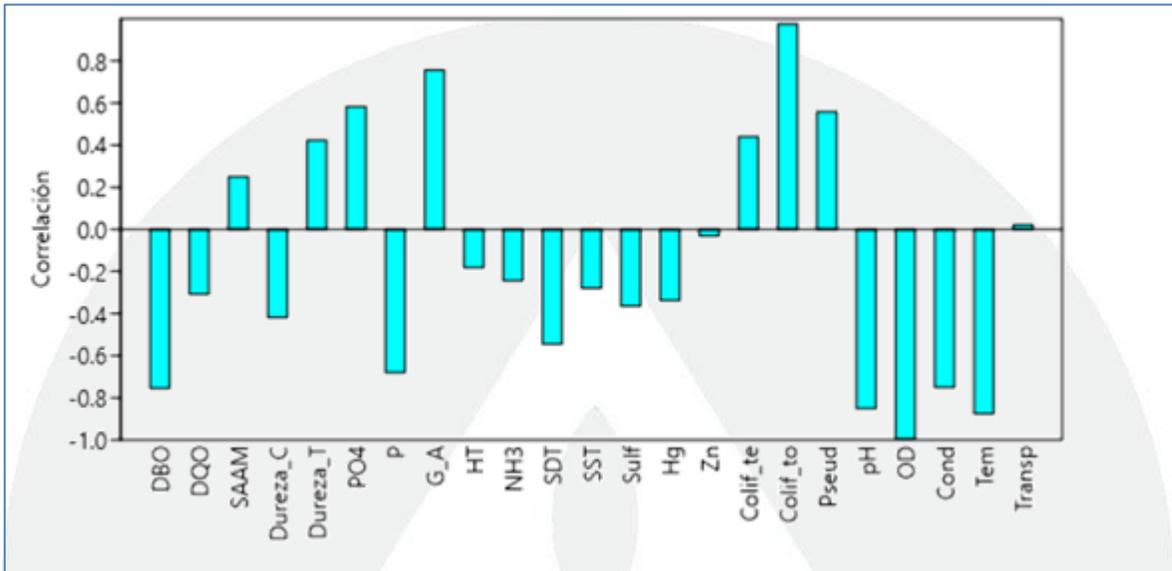
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO5): DBO, Demanda Química De Oxígeno (DQO): DQO, Detergentes (SAAM): SAAM, Dureza Cálctica: Dureza\_C, Dureza Total: Dureza\_T, Fósforo Reactivo Total (Fosfato): PO4, Fósforo Total: P, Grasas Y Aceites - Infrarrojo: G\_A, Hidrocarburos - Infrarrojo: HT, Nitrógeno Amoniacal: NH3, Sólidos Disueltos Totales (SDT):





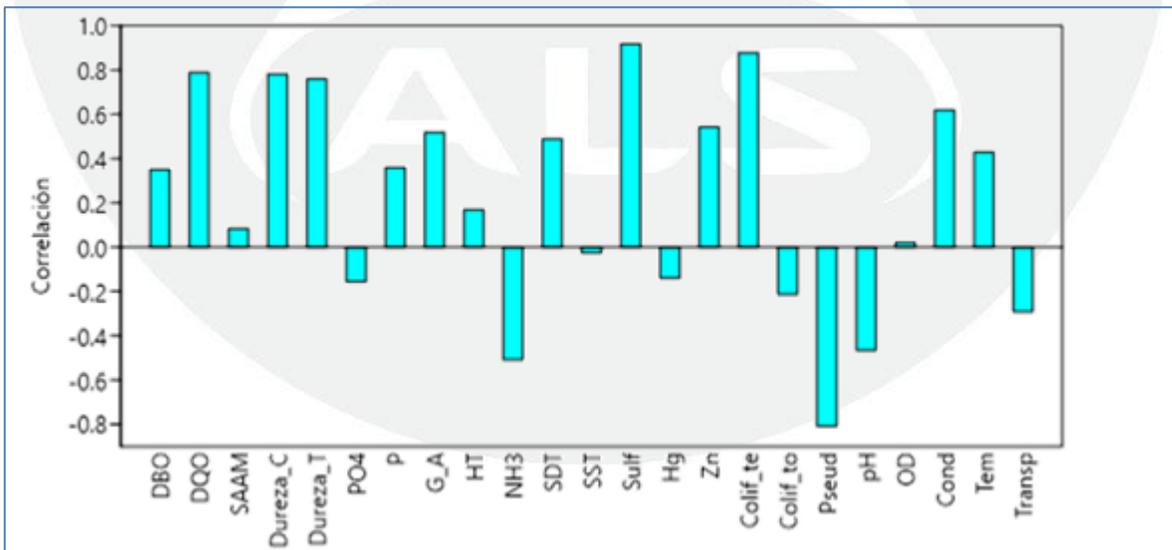
SDT, Sólidos Suspendidos Totales (SST): SST, Sulfatos-Ci: Sulf, Mercurio Total: Hg, Zinc Total: Zn, Coliformes termotolerantes: Colif\_te, Coliformes totales: Colif\_to, *Pseudomona aeruginosa*; Pseud, Oxígeno disuelto: OD, Conductividad: Cond, Temperatura: Tem, Transparencia: Transp

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



**Gráfica 29. Correlación de las variables fisicoquímicas en el Componente Principal 1.**

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



**Gráfica 30. Correlación de las variables fisicoquímicas en el Componente Principal 2.**

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





**Tabla 35. 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
DBO	<b>-0.7540</b>	0.3498	0.4952	0.2355	-0.0908
DQO	-0.3083	<b>0.7881</b>	0.5105	0.0630	-0.1384
SAAM	0.2499	0.0840	-0.7769	0.1099	-0.5610
Dureza_C	-0.4184	<b>0.7808</b>	-0.1050	0.0219	0.4514
Dureza_T	0.4227	<b>0.7591</b>	0.3739	0.2962	-0.1316
PO4	0.5833	-0.1555	-0.5577	0.4666	0.3265
P	-0.6795	0.3586	0.3095	-0.5064	-0.2391
G_A	<b>0.7564</b>	0.5180	0.0318	-0.3273	0.2264
HT	-0.1825	0.1688	-0.5663	0.4172	0.6658
NH3	-0.2443	-0.5073	0.1183	-0.5407	0.6135
SDT	-0.5446	0.4884	0.3075	0.4732	0.3824
SST	-0.2801	-0.0262	0.7919	-0.5276	0.1237
Sulf	-0.3649	<b>0.9167</b>	-0.0191	0.1463	0.0684
Hg	-0.3387	-0.1399	-0.8633	0.3466	0.0121
Zn	-0.0306	0.5423	-0.1981	0.04568	-0.8145
Colif_te	0.4409	<b>0.8778</b>	-0.1121	-0.1394	-0.0541
Colif_to	<b>0.9744</b>	-0.2129	0.0142	0.0060	0.0692
Pseud	0.5597	<b>-0.8077</b>	0.0787	0.1320	0.1032
pH	<b>-0.8517</b>	-0.4653	0.0620	-0.1507	0.1775
OD	<b>-0.9943</b>	0.0220	-0.0327	-0.0575	0.0803
Cond	<b>-0.7513</b>	0.6184	0.0128	0.1408	0.1816
Tem	<b>-0.8766</b>	0.4278	0.0621	-0.1031	0.1841
Transp	0.0222	-0.2906	0.5357	-0.7104	-0.3512

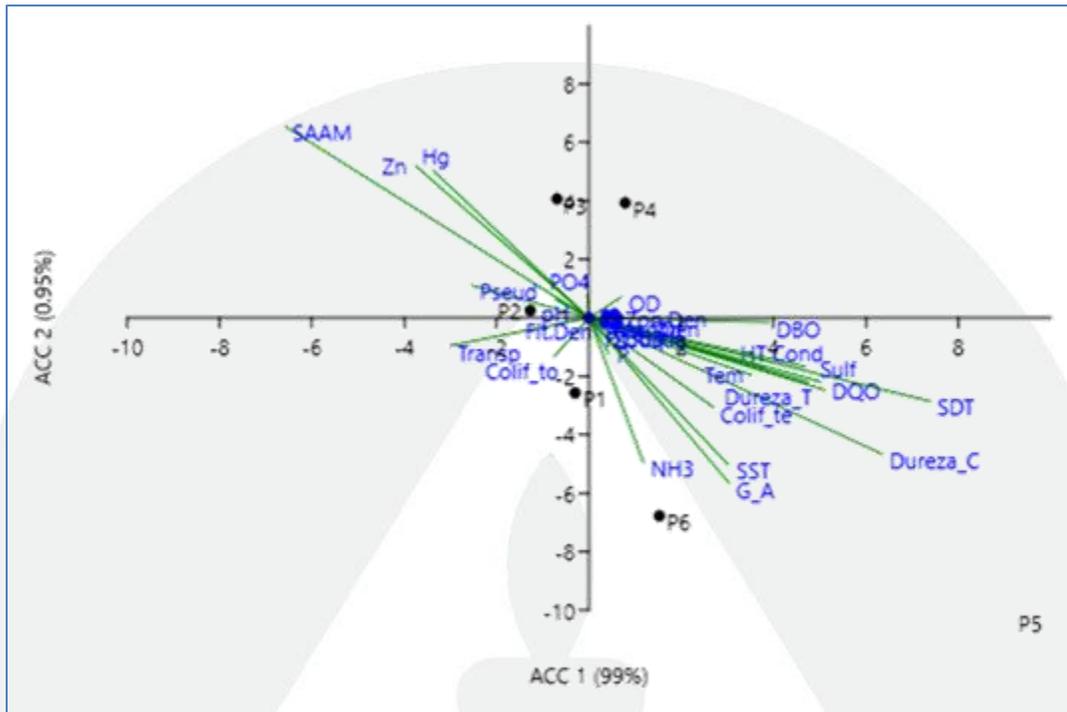
Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023.

#### 4.4.3 Relación entre las variables abióticas con el fitoplancton y zooplancton

En el Análisis de Correspondencia Canónica (ACC), los dos primeros ejes explican 99.9 % de la varianza (ACC1 99%, ACC2 0.95%) y los autovalores fueron 1.63E-05 y 1.57E-07, para el primer y segundo eje respectivamente (**Gráfica 31**). Las variables que se correlacionaron significativamente con el primer eje fueron el SDT ( $r=0,77$ ), detergentes SAAM ( $r=-0,69$ ), Dureza cálcica ( $r=0,66$ ) y la densidad del zooplancton ( $r=0,62$ ). Mientras que en el eje dos las variables que se correlacionaron significativamente fueron detergentes SAAM ( $r=0,68$ ), (**Tabla 36**). El ACC indicó que la densidad de macroinvertebrados se relacionó con el OD, la densidad del zooplancton se relacionó



principalmente con el DBO y la riqueza de fitoplancton y zooplancton se relacionaron con la dureza, DQO y conductividad.



**Gráfica 31. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) en 6 puntos de muestreo de la ciénaga El Convento. Las variables fisicoquímicas están representadas en color azul, los puntos de muestreo 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, Macroinvertebrado Densidad (Ind/m2): Mac,Den, Macroinvertebrado Riqueza (# sp): Mac,Riq, Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO5): DBO, Demanda Química De Oxígeno (DQO): DQO, Detergentes (SAAM): SAAM, Dureza Cálctica: Dureza\_C, Dureza Total: Dureza\_T, Fósforo Reactivo Total (Fosfato): PO4, Fósforo Total: P, Grasas Y Aceites - Infrarrojo: G\_A, Hidrocarburos - Infrarrojo: HT, Nitrógeno Amoniacal: NH3, Sólidos Disueltos Totales (SDT): SDT, Sólidos Suspendidos Totales (SST): SST, Sulfatos-Cl: Sulf, Mercurio Total: Hg, Zinc Total: Zn, Coliformes termotolerantes: Colif\_te, Coliformes totales: Colif\_to, *Pseudomonas aeruginosa*; Pseud, Oxígeno disuelto: OD, Conductividad: Cond, Temperatura: Tem, Transparencia: Transp

**Tabla 36. 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	<b>0,6240</b>	-0,0076	-0,0011
Zoo,Riq	<b>0,5646</b>	-0,2524	-0,0188
Fit,Den	-2,6682	0,0020	-0,0022
Fit,Riq	0,3505	-0,1825	0,0468
Mac,Den	<b>0,5575</b>	0,1346	0,0068





Variable	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Mac,Riq	0,3761	0,1061	0,0169
DBO	0,4114	-0,0155	-0,1617
DQO	0,5386	-0,2605	-0,3956
SAAM	-0,6927	0,6896	0,5277
Dureza_C	0,6683	-0,4906	-0,6127
Dureza_T	0,4981	-0,2319	-0,5563
PO4	-0,0048	0,0858	-0,2396
P	0,0456	-0,1298	0,1781
G_A	0,3197	-0,5955	-0,5056
HT	0,4031	-0,1785	-0,4807
NH3	0,1238	-0,5200	-0,0475
SDT	0,7785	-0,3007	-0,6312
SST	0,3180	-0,5295	-0,1209
Sulf	0,5289	-0,2307	-0,4650
Hg	-0,3557	0,5311	0,2982
Zn	-0,3950	0,5476	0,3889
Colif_te	0,2844	-0,3230	-0,4174
Colif_to	-0,0793	-0,1384	-0,1513
Pseud	-0,2676	0,1167	0,1526
pH	-0,0763	0,0657	0,2953
OD	0,0736	0,0747	0,1582
Cond	0,4923	-0,1754	-0,3294
Tem	0,3706	-0,2067	-0,1617
Transp	-0,3170	-0,1006	0,4261

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

• Zooplancton densidad (Ind/L): Zoo.Den, zooplancton riqueza (# sp): Zoo.Riq, fitoplancton densidad (Ind/L): Fit.Den, fitoplancton riqueza (# sp): Fit.Riq, Macroinvertebrado Densidad (Ind/m2): Mac,Den, Macroinvertebrado Riqueza (# sp): Mac,Riq, Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO5): DBO, Demanda Química De Oxígeno (DQO): DQO, Detergentes (SAAM): SAAM, Dureza Cálctica: Dureza\_C, Dureza Total: Dureza\_T, Fósforo Reactivo Total (Fosfato): PO4, Fósforo Total: P, Grasas Y Aceites - Infrarrojo: G\_A, Hidrocarburos - Infrarrojo: HT, Nitrógeno Amoniacal: NH3, Sólidos Disueltos Totales (SDT): SDT, Sólidos Suspendidos Totales (SST): SST, Sulfatos-Cl: Sulf, Mercurio Total: Hg, Zinc Total: Zn, Coliformes termotolerantes: Colif\_te, Coliformes totales: Colif\_to, *Pseudomonas aeruginosa*; Pseud, Oxígeno disuelto: OD, Conductividad: Cond, Temperatura: Tem, Transparencia: Transp.

Teniendo en cuenta los resultados de los análisis del ACC y ACP, se escogieron las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas de la **Tabla 37** 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 la **Gráfica 32**, en la que se muestran las correlaciones y significancia entre las variables.

**Tabla 37. 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	Zoo.Riq
DBO	Mac.Den
DQO	
Dureza cálcica	
Dureza total	
Grasas y aceites	
Sulfatos Cl	
Conductividad	
Temperatura	
Detergentes SAAM	
SDT	
Coliformes totales	
Coliformes termotolerantes	

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

Los valores de correlación de Pearson indicaron correlaciones; sin embargo, solo se consideraron las estadísticamente significativas (valor  $p \leq 0,05$ ). Se encontró una alta correlación negativa entre la densidad de zooplancton con SAAM ( $R^2 = -0,85$ ,  $p$ -valor  $\leq 0,05$ ). Aunque no fueron significativas se consideran importantes las correlaciones que se presentaron entre la densidad de zooplancton con la conductividad y los SDT; las correlaciones entre la riqueza del zooplancton con el pH y la dureza total; las correlaciones entre la densidad de macroinvertebrados con el DBO (**Tabla 38, Gráfica 33**).





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

OT 8933-3-4-A-7038-B-

Versión: 00

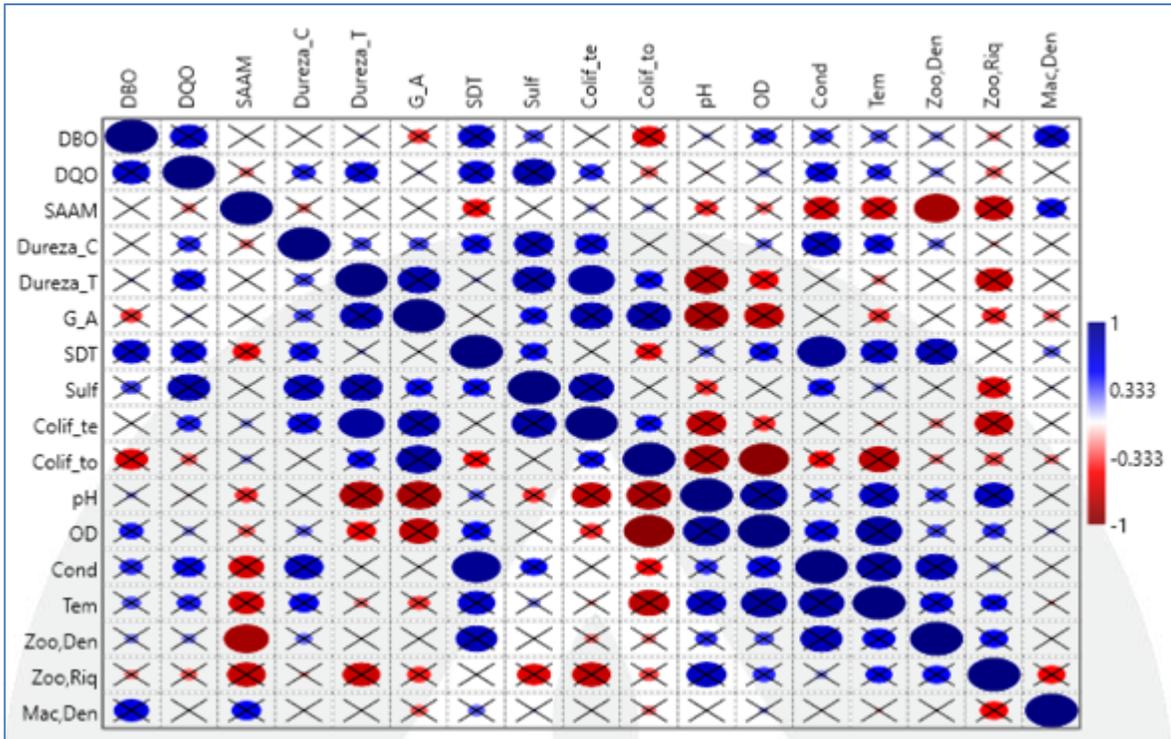
Página 102 de 139

**Tabla 38. Matriz de correlación de Pearson entre las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas.**

Variable	DBO	DQO	SAAM	Dureza_C	Dureza_T	G_A	SDT	Sulf	Colif_te	Colif_to	pH	OD	Cond	Tem	Zoo,Den	Zoo,Riq	Mac,Den
	<i>p-valor</i>																
<b>DBO</b>		0,14	1	0,96	0,76	0,43	0,14	0,47	0,93	0,24	0,80	0,43	0,41	0,52	0,66	0,67	0,16
<b>DQO</b>	0,71		0,62	0,43	0,24	0,83	0,17	0,08	0,39	0,61	1	0,65	0,23	0,43	0,67	0,61	0,93
<b>SAAM</b>	0,00	-0,27		0,62	0,89	0,98	0,31	1	0,68	0,68	0,53	0,58	0,20	0,20	0,04	0,13	0,27
<b>Dureza_C</b>	0,03	0,44	-0,26		0,50	0,47	0,27	0,11	0,24	0,93	1	0,57	0,12	0,24	0,56	0,77	0,92
<b>Dureza_T</b>	0,14	0,62	0,09	0,37		0,07	0,76	0,07	0,04	0,31	0,13	0,27	0,92	0,63	0,92	0,14	1
<b>G_A</b>	-0,41	0,13	-0,01	0,38	0,81		0,89	0,28	0,08	0,06	0,07	0,13	0,94	0,40	0,98	0,38	0,56
<b>SDT</b>	0,70	0,67	-0,52	0,55	0,17	-0,09		0,31	0,98	0,37	0,67	0,33	0,02	0,16	0,07	0,98	0,55
<b>Sulf</b>	0,38	0,81	0,00	0,75	0,81	0,51	0,51		0,06	0,96	0,47	1	0,29	0,67	0,93	0,19	0,84
<b>Colif_te</b>	-0,09	0,45	0,23	0,62	0,88	0,81	0,04	0,85		0,32	0,20	0,43	0,91	0,74	0,67	0,14	0,93
<b>Colif_to</b>	-0,62	-0,32	0,23	-0,09	0,53	0,85	-0,49	0,04	0,50		0,07	0,02	0,30	0,12	0,67	0,49	0,67
<b>pH</b>	0,21	-0,11	-0,43	0,00	-0,83	-0,84	0,32	-0,42	-0,75	-0,85		0,07	0,40	0,27	0,53	0,20	1
<b>OD</b>	0,46	0,24	-0,32	0,31	-0,56	-0,75	0,55	0,00	-0,43	-0,95	0,89		0,23	0,07	0,47	0,43	0,73
<b>Cond</b>	0,44	0,59	-0,67	0,74	0,09	-0,04	0,93	0,51	0,09	-0,50	0,43	0,64		0,06	0,08	0,66	0,98
<b>Tem</b>	0,35	0,45	-0,67	0,56	-0,26	-0,40	0,70	0,24	-0,18	-0,77	0,75	0,87	0,86		0,20	0,30	0,78
<b>Zoo,Den</b>	0,26	0,26	-0,85	0,31	-0,09	-0,03	0,78	0,06	-0,26	-0,26	0,41	0,37	0,79	0,62		0,31	0,92
<b>Zoo,Riq</b>	-0,26	-0,32	-0,73	-0,18	-0,71	-0,45	0,04	-0,63	-0,73	-0,36	0,75	0,43	0,23	0,50	0,53		0,31
<b>Mac,Den</b>	0,66	0,09	0,56	-0,09	-0,03	-0,32	0,32	0,12	-0,09	-0,26	0,00	0,19	0,03	-0,15	-0,09	-0,53	

Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO5): DBO, Demanda Química De Oxígeno (DQO): DQO, Detergentes (SAAM): SAAM, Dureza Cálctica: Dureza\_C, Dureza Total: Dureza\_T, Grasas Y Aceites - Infrarrojo: G\_A, Sólidos Disueltos Totales (SDT): SDT, Sulfatos-Cl: Sulf, Coliformes termotolerantes: Colif\_te, Coliformes totales: Colif\_to, Oxígeno disuelto: OD, Conductividad: Cond, Temperatura: Tem, Zooplancton densidad (Ind/L): Zoo,Den, zooplancton riqueza(# sp): Zoo,Riq, Macroinvertebrado Densidad (Ind/m2): Mac,Den.

Fuente: SERAMBIENTE S.A.S., 2023



**Gráfica 32. Matrix de correlación de Pearson entre las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas (p-value > 0.05 marcados con X).**

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

La Sustancia Activa al Azul de Metileno (SAAM) es una prueba usada como un mecanismo de control para garantizar que en el agua no hay detergentes usados en la limpieza. Los valores de la correlación negativa entre la densidad de zooplancton con SAAM ( $R^2 = -0,85$ ,  $p\text{-valor} \leq 0,05$ ), indica que los valores de una variable tienden a incrementarse mientras que los valores de la otra variable descienden; por tanto, se infiere que menor concentración de SAAM se aumenta la densidad de zooplancton.

Finalmente, para escoger las variables del componente estadístico, se tuvieron en cuenta las variables del Componentes Principales (ACP) con mayor correlación del CP 1 (explica el 55%); también se tuvieron en cuenta las variables del Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) con más peso del eje 1 (explica el 99%). Finalmente, se escogieron las variables que en la correlación de Pearson indicaron relaciones



estadísticamente significativas entre las variables fisicoquímicas y las hidrobiológicas (**Tabla 39**).

**Tabla 39. Variables seleccionadas en el criterio estadístico.**

<b>Variables fisicoquímicas</b>	<b>Variables Hidrobiológicas</b>
pH	Zoo.Den
OD	Zoo.Riq
DBO	Mac.Den
Dureza cálcica	
Grasas y aceites	
Conductividad	
Temperatura	
Detergentes SAAM	
SDT	
Coliformes totales	

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

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 13 variables, que fueron agrupadas de acuerdo al tipo de variable (**Tabla 40**).

**Tabla 40. Consolidado de variables y agrupación de acuerdo con el criterio relacionado.**

<b>Tipo de variable</b>	<b>Variable</b>	<b>Criterio bibliográfico</b>	<b>Criterio Normativo</b>	<b>Criterio estadístico</b>
Concentración de metales y metaloides	Arsénico		X	
	Cobre		X	
	Plomo		X	
	Dureza Total	X		X





Tipo de variable	Variable	Criterio bibliográfico	Criterio Normativo	Criterio estadístico
Condiciones del medio	Oxígeno Disuelto	X	X	X
	pH	X	X	X
	SST		X	
MO y condiciones microbiológicas	DBO <sub>5</sub>	X	X	
	Coliformes Totales	X	X	X
Contaminación residual	Grasas y Aceites		X	X
	SAAM		X	X
Productividad	Fosfatos (PO <sub>4</sub> )	X		
	Nitratos (NO <sub>3</sub> )	X	X	

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

#### 4.4.4 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 41**).

**Tabla 41. Categoría de calidad de agua y su correspondiente escala de valor y color.**

GRADO DE CALIDAD	ESCALA	
	Valor	Color
<b>MUY BUENA:</b> Indica que las condiciones son excepcionalmente favorables para el ecosistema y la sobrevivencia de los organismos que lo habitan.	100	[Color Azul]
	80	
<b>BUENA:</b> 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	[Color Verde]
	60	
<b>REGULAR:</b> 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	[Color Amarillo]
	40	
<b>MALA:</b> 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	[Color Naranja]
	20	
<b>MUY MALA:</b> Indica que existen altos niveles de contaminación, con condiciones que limitan la sobrevivencia de los organismos	19	[Color Rojo]
	10	





GRADO DE CALIDAD	ESCALA	
	Valor	Color
acuáticos, afectando significativamente su abundancia y diversidad. Muchas variables o variables críticas estarían sobrepasando niveles adecuados para la preservación de la fauna y flora.	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 León (1991), Rojas (1991), Montoya et al., (1997), Ramírez et al., (1997), Patiño et al., (2002), Torres, Vega (2009), Cadavid et al (2011), García-Quevedo, (2012), IDEAM (2013), Orjuela y López (2013), Rubio et al. (2014), Ariza y Avendaño (2017), Castellanos (2017), De La Hoz y Jiménez (2017), Borrero y Husserl (2018), Serna-Mosquera (2018), Calvo-Brenes (2019), CRA (2020), Losada et al., (2020), 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 de mayor coeficiente de correlación, que se estuvo entre 0.97-0.99 en la mayoría de los casos.

#### **4.4.4.1. 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 As, Cu y el Pb no fue detectable en la ciénaga El Convento o se encontraron debajo del valor de límite permisible (VLP). Adicionalmente, se tuvo en cuenta los reportes en el monitoreo en la ciénaga El Convento en julio de 2023.

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).

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).

Aunque no se calculó el mercurio en el subíndice de metales pesados, se debe realizar seguimiento a presencia de trazas de mercurio (Hg) en el P1, P2, P4 y P5 de la ciénaga El Convento para definir si la presencia es de tipo natural o por contaminantes. Gao et al. (2016) establecen que el mercurio se ha convertido en una preocupación creciente debido a su toxicidad, naturaleza no biodegradable y persistente, y la habilidad de bioenriquecimiento en la cadena alimentaria. Por su parte Bose et al. (2016) indica que la pared intestinal de los peces actúa como barrera para especies inorgánicas de mercurio como el  $HgCl_2$ , mientras que es permeable al metilmercurio, por lo que las especies predadoras (incluyendo los humanos) están expuestos al mercurio a través de la ingestión.

De acuerdo a Arrifano (2018) el metilmercurio cruza fácilmente las paredes del tracto gastrointestinal debido a su rápido transporte a través de membranas biológicas, acumulándose en las paredes de las células nerviosas causando daño neurológico. Además, el metilmercurio es más tóxico para los microorganismos y plantas acuáticas; lo que implica la inhibición del crecimiento por reducción de la actividad fotosintética; niveles de entre 1 y 10 mg/L causan una toxicidad aguda para la mayoría de invertebrados acuáticos.

Por su parte Gao et al. (2016) indican que la coagulación, la floculación y la coprecipitación pueden causar la eliminación de Hg de la columna de agua al sedimento, debido a cambios en el pH. Las concentraciones totales de Hg en los sedimentos superficiales fluctúan de 0,02 a 0,4 mg/kg en cuerpos de agua no contaminados, y



pueden ser tan altos como 100 mg/kg en áreas urbanas, industriales o mineras. El mercurio puede movilizarse al ambiente acuático desde el suelo por escorrentía o inundaciones.

#### **4.4.4.2. 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, la ciénaga Luruaco y los resultados del monitoreo realizado en julio de 2023 en la ciénaga El Convento.

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). Los valores de OD en la ciénaga El Convento fluctuaron entre 2.2 y 2.7 mg/L por lo cual se recomienda realizar seguimiento de esta variable y muestrearla a diferentes horas del día.

En cuerpos de aguas tropicales 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 Guájaro que causó la muerte de ganado, cerdo, perros, aves de corral y peces.

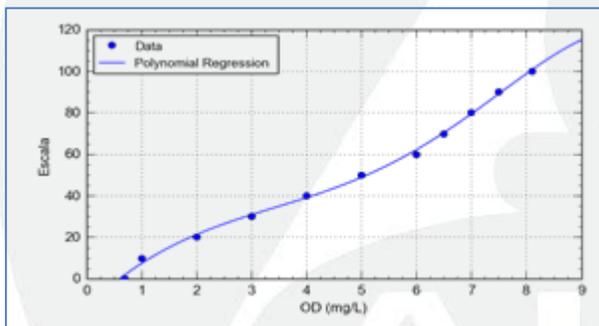
El pH del agua puede variar de ácido a básico en la escala de pH de 1 a 14, un pH inferior a 7 hace que el agua sea más ácida, mientras que un pH superior a 7 hace que el agua sea más alcalina (básico). La mayoría de los organismos acuáticos prefieren un rango de pH entre 6,5 a 9,0, aunque algunos organismos 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). La ciénaga de El Convento presenta valores de pH con media de 7,41.



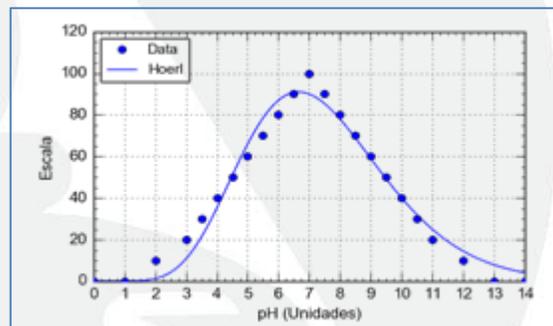


Los cambios menores de pH pueden tener efectos a largo plazo. Un ligero cambio en el pH del agua puede aumentar la solubilidad del fósforo y otros nutrientes, haciéndolos más accesibles para el crecimiento de las plantas. En un humedal oligotrófico, o un humedal bajo en nutrientes para plantas y alto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

Como resultado, a continuación, se registran las respectivas curvas de calidad y sus formulaciones, para la ciénaga El Convento **Gráfica 33**, **Gráfica 34** y **Gráfica 35**.



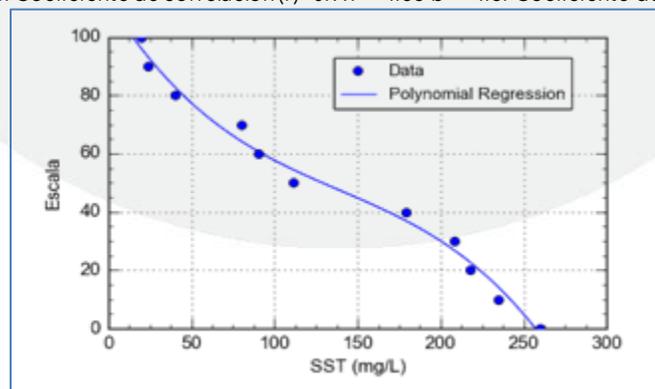
$$y = a + bx + cx^2 + \dots$$



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

**Gráfica 33.** Curva de calidad para el OD.  $a=1.3$   
 $b=2.46$ ,  $c=-4.06$ ,  $d=5.3$ . Coeficiente de correlación  $(r)=0.99$ .

**Gráfica 34.** Curva de calidad para el pH.  $a=4.66$   
 $b=-4.8$ . Coeficiente de correlación  $(r)=0.88$ .



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





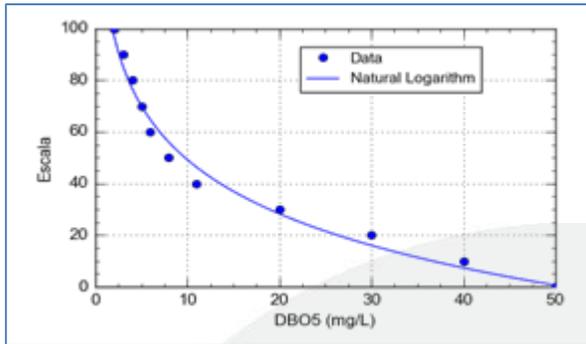
**Gráfica 35.** Curva de calidad para SST.  $a= 1.1$   $b= -9.1$ ,  $c= 4.7$ ,  $d= -1.1$ . Coeficiente de correlación  $(r)=0.99$ .

#### **4.4.4.3. Subíndice materia orgánica y condiciones microbiológicas**

Para la construcción de este subíndice se tuvieron en cuenta las variables de  $DBO_5$  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, la ciénaga El Rincón y la ciénaga Luruaco.

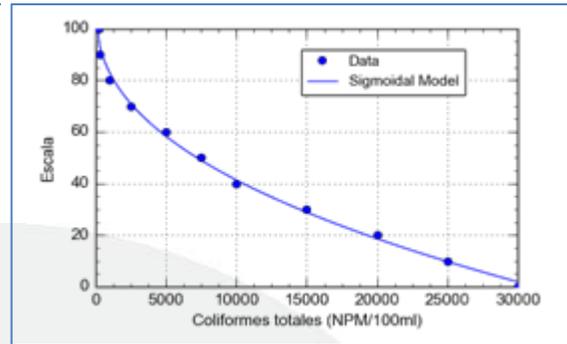
La ciénaga El Convento presenta valores promedios de  $DBO_5$  de 30,6 (mg/L); categorizándola con calidad del agua mala, también indica que se debe evaluar qué está pasando en la ciénaga teniendo en cuenta las demás variables evaluadas. La  $DBO_5$  es un parámetro importante para evaluar la calidad del agua, se trata de la cantidad de oxígeno consumido por los organismos biológicos aeróbicos para oxidar compuestos orgánicos. Las aguas con alto  $DBO_5$  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). Los valores de  $DBO_5$  reportados coinciden con los bajos valores de OD encontrados en la ciénaga el Convento, en la **Gráfica 36** se presenta la curva de calidad para  $DBO_5$ .

El valor promedio de coliformes totales fue de 74 NMP/100 ml y categoriza en buen estado la calidad del agua de la ciénaga El convento. 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), en la **Gráfica 37** se presenta la curva de calidad para los coliformes totales.



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

**Gráfica 36.** Curva de calidad para DBO5.  $a = 1.18$   $b = -3.02$ . Coeficiente de correlación  $(r) = 0.99$ .



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

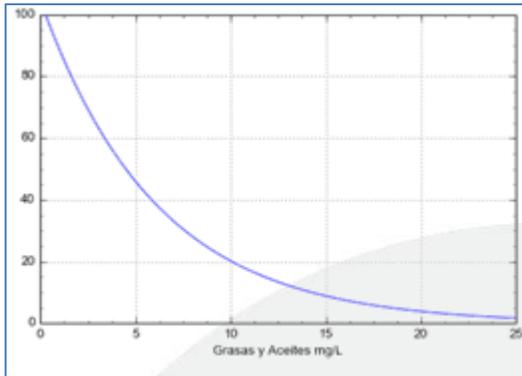
**Gráfica 37.** Curva de calidad para coliformes totales.  $a = 9.99$ ,  $b = 2.87$ ,  $c = 1.22$ ,  $d = -1.24$  coeficiente de correlación  $(r) = 0.99$ .

#### 4.4.4.4. 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-. Las sustancias activas de azul de metileno (SAMB) son tensioactivos aniónicos que pueden detectarse mediante métodos colorimétricos, se puede detectar la existencia de agentes espumantes, detergentes y otras sustancias aniónicas en el agua que se está analizando (Morillo et al., 2019) en la

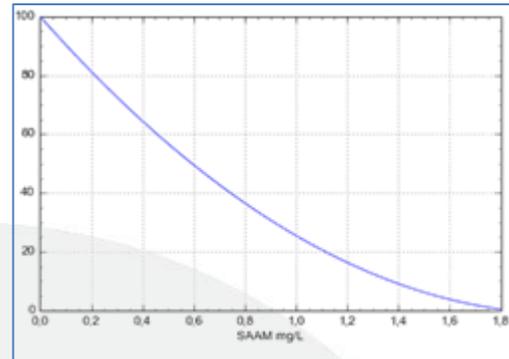
**Gráfica 39** se muestra la curva de calidad para SAAM. Por otro lado, las grasas y aceites tienen un gran impacto en el agua debido a que forman películas en la superficie, lo que provoca que no haya un adecuado intercambio de oxígeno entre el agua y el aire, ocasionando afectación a la flora y fauna propia del lugar (Rincón et al., 2022), a continuación, en la **Gráfica 38** se muestra la curva de calidad para Grasas y Aceites.





$$y = ae^{bx}$$

**Gráfica 38.** Curva de calidad para grasas y aceites.  $a = 1.05$ ,  $b = -1.64$ . Coeficiente de correlación  $(r) = 0.84$ .



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

**Gráfica 39.** Curva de calidad para SAAM.  $a = 1.00$ ,  $b = -9.85$ ,  $c = 2.40$ . Coeficiente de correlación  $(r) = 0.92$ .

#### 4.4.4.5. Subíndice productividad

Para la construcción de este subíndice se tuvieron en cuenta las variables Nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y Fosfatos ( $\text{PO}_4$ ). La variable Nitratos ( $\text{NO}_3$ ) 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).

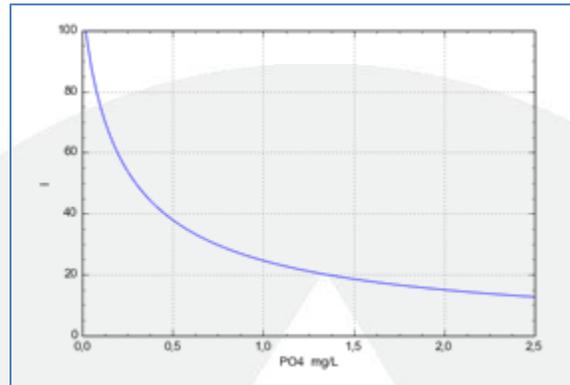
El valor promedio de Fosfato reportado fue de 0.075; según la norma Colombiana Resolución 2115 de 2007, en el artículo 7 de características químicas que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana se establece que el valor aceptable para la concentración de fosfatos en el agua para consumo humano (potable) debe ser menor o igual a 0.5 mg/L de  $\text{PO}_4$ .

La ausencia de Nitratos y bajos valores de Fosfato, indican que la ciénaga El Convento 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) en la **Gráfica 40** se presenta la curva de calidad del fosfato.



$$y = 1 / (a + bx^c)$$

**Gráfica 40..** Curva de calidad para el Fosfatos ( $PO_4$ ).  $a = -9.05$ ,  $b = 3.16$ ,  $c = -8.64$ . Coeficiente de correlación ( $r$ )=0.97.

#### 4.4.4.6. Índice de calidad del agua en la ciénaga de El Convento

El índice de calidad del agua (ICA) en la ciénaga El Convento, indicó que el agua presenta 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 42**).

**Tabla 42. Resultados del índice de calidad del agua en la Ciénaga El Convento.**

	Subl metales	Subl Cond del Medio	Subl MO y Microbiol	Subl Cont Res	Subl Prod	ICA El Convento
P1	100	61	59	66	89	70,2
P2	100	64	58	59	89	70,3
P3	100	62	57	66	92	70,6
P4	100	64	57	78	90	71,7
P5	100	62	57	67	90	70,1
P6	100	61	57	73	94	71,1

Subl: subíndice.





## 5. CONCLUSIONES

**CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO C.R.A.,** Realizó la evaluación de la calidad del agua superficial y comunidades hidrobiológicas en seis (6) puntos, ubicados en la Ciénaga El convento, en el departamento del Atlántico. De lo cual se concluye lo siguiente:

- Las muestras de agua presentan pH con características neutras, lo que permite dar cumplimiento con el objetivo de calidad de la Res. 0449 de 2021 de la CRA (corto y mediano plazo) y el Dec. 1076 de 2015. Por otro lado, para el parámetro temperatura, los puntos de monitoreo reportan valores acordes a las condiciones climáticas de la zona de estudio y a la hora de la toma de muestras. Asimismo, el oxígeno disuelto demostró cumplimiento desviación con relación al objetivo de calidad de la Res. 0449 de 2021 de la CRA (corto y mediano plazo) y el Dec. 1076 de 2015. Por otro lado, la conductividad eléctrica en todos los puntos arrojó una mineralización media al arrojar resultados entre 200-700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- Con respecto al parámetro Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO5) se observa cumplimiento en todos los puntos monitoreados con respecto al objetivo de calidad de la Res. 0449 de 2021 de la CRA (corto y mediano plazo). En el caso de los SST solo se presenta cumplimiento en el punto Ciénaga de convento P2, ya que presentó un valor correspondiente al límite indicado (50 mg/L).
- Los parámetros Clorofila A, Nitratos-Cl, Nitritos, Plaguicidas organoclorados, Plaguicidas organofosforados, Sulfuros, Arsénico total, Cadmio total, Cobre total, Cromo total y Plomo total presentaron resultados por debajo del límite de cuantificación, descartando influencia de estos sobre las muestras de agua.
- En términos generales los demás parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en las muestras de agua superficial registraron concentraciones acordes y coherentes con el tipo de agua analizada.





- El fitoplancton estuvo mayormente representado por las algas de la división Heterokontophyta, constituye uno de los grupostaxonómicos más abundantes en los sistemas acuáticos, así mismo son importantes bioindicadores dentro de un ecosistema, debido a la susceptibilidad a cambios y resistencia a muchas sustancias que de una u otra forma causan modificaciones en un determinado ambiente. La morfoespecie más abundante fue *Cyclotella* sp y el punto con mayor densidad fue "P2".
- La comunidad zooplanctónica en la ciénaga El Convento estuvo conformada por 10 morfoespecies, vinculadas a tres (3) phylas. Las morfoespecies más abundantes fueron *Diaphanosoma* sp y Calanoida morfo 1. Las densidades zooplanctónicas máximas estuvieron relacionadas con el punto de monitoreo P5 y se evidenciaron niveles bajo de diversidad.
- El perifiton no presentó organismos, esta ausencia pudo verse visto influenciada por distintos factores, abióticos y bióticos que regulan el funcionamiento de sus componentes, la comunidad es cambiantes por la interacción dinámica de varios factores tales como la disponibilidad de la luz, estado trófico, temperatura, fluctuaciones hidrológicas, interacción con el sustrato, entre otros.
- En la ciénaga El Convento se registraron cuatro morfoespecies de macroinvertebrados bentónicos asociados al phylum Mollusca, clases Gatropoda y Bivalvia. En general, estos valores de riqueza son considerados bajos, sin embargo, no resultan sorprendentes en los macroinvertebrados bentónicos de los sistemas lenticos ya que estos además de ser tendientes a la eutrofia ofrecen mayor oportunidad de refugio a los macroinvertebrados, además pueden esconderse en el interior de conchas, debajo de troncos y otros materiales. *Melanoides tuberculatus* fue la especie más representativa y el punto "P4" el de mayor densidad.
- En cuanto a la comunidad de macrófitas acuáticas, no se reportó la presencia de organismos en el área de estudio; esto puede asociarse a que variables como la velocidad de la corriente y la profundidad del sistema condicionan el





asentamiento de semillas y de plantas flotantes libres, plantas con hojas flotantes y plantas emergentes.

- No se reportaron organismos de la comunidad íctica en el área de estudio, pese al esfuerzo del monitoreo, que constituyen diez (10) lanzamientos abiertos de atarraya. Lo anterior, puede tener relación con el hecho de que los peces son organismos extremadamente sensibles a la composición fisicoquímica del agua que habitan, variables con el oxígeno disuelto y los sólidos en suspensión podrían estar condicionando la presencia de individuos en algunos puntos de monitoreo. Adicionalmente, la libre movilidad y capacidad de escape de estos organismos podría estar condicionando su captura en un sistema.
- 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 los humedales, además de afectar 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 El Convento proporcionó una evaluación clara de este entorno, considerando que la calidad del agua se encuentra entre bueno y muy bueno. 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, Atlántico

21 de marzo de 2024

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.





## 6. BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- 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. & Lloyd, R. (1982). Water Quality Criteria for Freshwater Fish. Second edition. ISBN: 9781483163116.
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. 2019. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. J. Chem. 2019, 6730305.
- Alonso, A. 2005. Valoración de la degradación ambiental y efectos ecotoxicológicos sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. Tesis Doctoral, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares (Madrid), España.
- 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.
- Álvarez, C. 2016. Determinación analítica de detergentes en las aguas de los pantanos de Villa. Tesis para optar el Título de Licenciada en Química. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 97 p.
- 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.
- Amado-Alvarez, J, Pérez-Cutillas, P, Alatorre-Cejudo, L. C, Ramírez-Valle, O, Segovia Ortega, E. F. y Alarcón-Cabañero, J. J. 2019. Análisis multiespectral para la estimación





de la turbidez como indicador de la calidad del agua en embalses del estado de Chihuahua, México. *Revista Geográfica de América Central*, (62), 33-61.

- American Public Health Association (APHA). 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23th edition. Amer. Pub. Heal. Assoc., Washington. EEUU.
- APHA-AWWA-WEF (2017) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23th Edition.
- Arcgis. 2021. Recuperado en: <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>.
- Arocena, R., G. Chalar, R. de León & W. Pintos. (1992). Evolución anual de algunos parámetros físico-químicos del Arroyo Toledo-Carrasco (Uruguay). *Acta Limnológica Brasiliensia IV*: 225-237.
- Arredondo, J. L. 1993. *Fertilización y Fertilizantes: su uso y manejo en la Acuicultura*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México, D.F.
- Arrifano, G.P., R.C. Rodriguez, M. Jimenez, V. Ramirez, N.F. da Silva, J.R.Souza, M. Augusto, R.S. Paraense, B.M. Macchi, J.L.do Nascimento, and M.E.Crespo. 2018. "Large-scale projects in the amazon and human exposure to mercury: The case-study of the Tucuruí Dam", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 147, pp.299-305.
- 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.
- Avila, A. 2019. *Análisis y clasificación de firmas espectrales utilizando técnicas de aprendizaje automático*. Instituto Nacional de Astrofísica, óptica y electrónica.





<https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/1677/1/AvilaGAP.pdf>

- Ayala-Pérez, L.A., J. Ramos-Miranda, D. Flores-Hernández, A. Sosa-López y G.E. MartínezRomero. (2015). Ictiofauna marina y costera de Campeche. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. México. 502 pp.
- Barahona-Castillo, Y.M, Luna-Fontalvo, J.A. y Romero-Borja, I.M. 2017. Calidad bacteriológica del agua de los ríos Manaure y Casacará, Departamento del Cesar, Colombia.
- Barrera, E. G. y Wong, Ch.I. 2005. Contaminación por microorganismos en zonas costeras, p. 475-486. En: Botello, A. V.; Rendón-von Osten, J.; Gold-Bouchot, G. y Agraz-Hernández, C. (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autonomabarreraxxx de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.
- Beita-Sandí, W. y Barahona-Palomo, M. (2011). Físico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica. Revista UNED de Investigación / Cuadernos de Investigación UNED, 2 (2),157-179. [fecha de Consulta 2 de octubre de 2022]. ISSN: 1659-4266. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=515651982004>.
- Bellinger, C.G. Y Sigeo, D.C. (2010). Freshwater algae: Identification and use as bioindicators. Wiley-Blackwell. London, UK
- 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.
- Berdugo, M.A.G. y Reales, L.G.J. 2016. Análisis multiespectral de imágenes satelitales para evaluar variaciones espacio - temporales en la calidad del agua del embalse Del Guájaro, Atlántico. Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Ambiental. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad de la costa (CUC). Barranquilla, Colombia.72 p.
- 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.
- Bose, S., R. Schierl, D. Nowak, U. Siebert, J. Frederick, W. Owi, Y. Ismawati, and I. Ir, 2016. "A preliminary study on health effects in villagers exposed to mercury in a small-scale artisanal gold mining area in Indonesia", *Environmental Research*, vol. 149, pp. 274-281.
- Brackett, R. E. 1993. CHAPTER 6 - MICROBIAL QUALITY. In R. L. Shewfelt, & S. E. Prussia (Eds.), *Postharvest Handling* (pp. 125-148). Academic Press.
- Brivio P.A, Giardino, C. & Zilioli, E. 2001. Validation of satellite data for quality assurance in lake monitoring applications. *Sci Total Environ*, 268, 3-13. Recuperado de [http://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00693-8](http://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00693-8)
- Broecker, W.S. 1974. *Chemical oceanography*. Hartcourt Brace J. Inc. 214 pp.
- 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.
- Burkholder, J. (1996). Interactions of benthic algae with their substrata. En J. Stevenson, *Algal Ecology*. San Diego: Academic Press.
- Cabral, E., & Vallejos, S. (2014). *Algas Diversidad Vegetal. GUÍA DE CONSULTA - DIVERSIDAD VEGETAL- FACENA (UNNE)*.
- Cabrera Molina, E., Hernández, L., Gómez, H. y Cañizares, M. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(1), 88-92. Recuperado en 11 de mayo de 2022, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0583-76932003000100014&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932003000100014&lng=es&tlng=es).
- 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.





- Calera, B. A. 2003. Principios Físicos En la Percepción Remota. En I. d. Albacete, Teledetección y Desarrollo Rural. Albacete, España: Universidad Castilla La Mancha.
- Canet Miquel Carles y Camprubi i Cano Antoni. Yacimientos Minerales: los tesoros de la tierra. Fondo de Cultura Económica, 2006.
- 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.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). (2005). Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Phosphorus. Winnipeg, Canada.
- Chapman, D. 1996. Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. E & FN Spon, Cambridge, Inglaterra.
- Chuvieco, E. 2010. Teledetección Ambiental La observación de la Tierra desde el Espacio. Barcelona: Ariel.
- 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.
- Climate.org. (2023). Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/Atlántico/Barranquilla-28987/>
- Comas, Augusto. (2009). Comas, A. (2009): Catálogo de las algas y cianoprocaritas dulciacuícolas de Cuba. Ed. Universo Sur, Univ. Cienfuegos, 147 pp.
- CONAGUA- SEMARNAT. 2014. Estadísticas del Agua en México. Edición 2013. México.
- CONAMA, 2004. "Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas". Departamento de Control de la Contaminación de la Comisión Nacional del Medio Ambiente. 4-18 p.
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA. 2017. Monitoreo fisicoquímico, microbiológico e hidrobiológico sobre la calidad y estado de los cuerpos de agua, las fuentes hídricas del departamento Del Atlántico y la caracterización de los





humedales Sabanagrande, Santo Tomas y Palmar de Varela (año 2016) en cumplimiento de lo establecido en el Plan de Acción Institucional 2016 - 2019. Informe final. Barranquilla.

- Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA. (2021). Resolución 0000449 de 2021. Por la cual se establecen los objetivos de calidad para los cuerpos de agua de la jurisdicción de la Corporación autónoma Regional del Atlántico a corto, mediano y largo plazo.
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA. 2015. Resolución 279 de mayo 19 de 2015. Por medio de la cual se establecen unas directrices generales para la conservación de la ciénaga El Rincón o el Lago del Cisne, departamento del Atlántico. FIODMO. (s.f.). Obtenido de <https://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>
- Cude, C.G. 2001. Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness. J. Am. Water Resour. Assoc.
- Curtis, H., Barnes, H. S., & Schnek, A. A., Massarini, A. (2008). *Biología*.
- Darley, W. Marshall. 1991. *Biología de las algas enfoque fisiológico*. México: Ed. Limusa.
- Day Jr, J. W., y Templet, P. H. (1989). Consequences of sea level rise: implications from the Mississippi Delta. *Coastal Management*, 17(3), 241-257
- De Vicente, A, Codina, J.C, Borrego, J. y Romero, P. 1991. Relationship between *Pseudomonas aeruginosa* and bacteria indicators in polluted natural waters. *Wat. Sc. Tech.* 24: 121-124.
- 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.





- EEA. 2000. Nutrients in European ecosystems. Environmental Assessment Report No 4. European Environment Agency, Copenhagen.
- EEA. 2005. Source apportionment of nitrogen and phosphorus inputs into the aquatic environment. Environmental Assessment Report No 7. European Environment Agency, Copenhagen.
- 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.
- Environment. 2001. Priority substances assessment report: ammonia in the aquatic environment. Minister of Public Works and Government Services, Ottawa.
- EPA. 1999. Update of ambient water quality criteria for ammonia. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- EPA. 2006. National recommended water quality criteria. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- EPA. 2022. Indicators: Dissolved Oxygen. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- EPA. 2023. pH. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Escribano, M. y De Frutos, M. (1987). Impactos sobre la calidad de las aguas superficiales, p. 443-453. In Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (eds.). La práctica de las estimaciones de impactos ambientales, tomo 3. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid, España.
- Espinoza, C. (2005). Calidad del agua y contaminación de agua subterránea. Chile: Hidráulica de aguas subterráneas y su aprovechamiento.
- Fataei, E., Seyyedsharifi, A., Seiiedsafaviyan, T., & Nasrollahzadeh, S. 2013. Water quality assessment based on WQI and CWQI Indexes in Balikhlou River, Iran. J. Basic Appl. Sci. Res. 3, 263-269.
- Feyisa, G.L, Meilby, H, Fensholt, R. & Proud, S.R. 2014. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Remote





Sensing of Environment, 140, 23-35. Recuperado de <http://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>

- 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).
- Flanagan, P. (1992). Parameters of Water Quality. Interpretation and Standards. Second Edition, Environmental Research Unit, Ireland.
- Flores, V.F.J.; Agraz, H.C. y Benitez, P.D. 2007. Ecosistemas acuáticos costeros: Importancia, retos y prioridades para su conservación. En: Verdugo, F. J. F, Hernández, C. A, & Pardo, D. B. Ecosistemas Acuáticos costeros: Importancia, reto y prioridades para su conservación. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. p147-166.
- Gao, B., Han, L., Hao, H., Zhou H. 2016. "Pollution characteristics of mercury (Hg) in surface sediments of major basins, China", Ecological Indicators, vol. 67, pp. 577-585.
- Garcés-Ordóñez, O, Vivas-Aguas, L.J, Martínez, M, Córdoba, T, Contreras, A, Obando, P, Moreno, Y, Muñoz, J, Nieto, Y, Ríos, M, Sánchez, J. y Sánchez, D. 2016. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de Publicaciones Periódicas del Inveimar No. 4 (2016). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM). Informe técnico 2015. INVEMAR, MADS y CAR costeras. Santa Marta. 377 p.
- Gómez Díaz, J.L. y Dalence Martinic, J.S. 2014. Determinación del parámetro sólidos suspendidos totales (SST) mediante imágenes de sensores ópticos en un tramo de la cuenca media del río Bogotá (Colombia). UD y la Geomática, (9).
- HACH. (s.f.). Obtenido de [file:///C:/Users/57301/Desktop/14795464\\_DOC043.61.30196.web.pdf](file:///C:/Users/57301/Desktop/14795464_DOC043.61.30196.web.pdf)
- Hakanson, L, Mikrenska, M, Petrov, K. & Foster I. 2005. Suspend particulate matter (SPM) in rivers: empirical data and models. Ecological Modelling, 183, 251-267. Recuperado de <http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.07.030>





- 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.
- Hernandez, J, y Hernández, M. 2013. Percepción Remota Como Herramienta Para El Monitoreo De La Calidad Del Agua. Facultad de Ingeniería, Centro Interaamericano de Recursos del Agua.
- 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.
- ICONTEC, N. (2017). NTC ISO/IEC-17025 Requisitos Generales Para La Competencia De Los Laboratorios De Ensayo Y Calibración. Iso, no. Colombia, 27, 60.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas, 2021.
- 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.
- INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras). 2001. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia: Año 2000. Santa Marta, Colombia. P 70-83.
- INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras). 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos). Programa Calidad Ambiental Marina - CAM. Santa Marta, Colombia. 148 p.
- INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras). 2017. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Garcés, O. y L. Espinosa (Eds.). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia - REDCAM: INVEMAR, MADS





y CAR costeras. Informe técnico 2016. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 (2017) del INVEMAR, Santa Marta. 260 p.

- INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras). 2021. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2020. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 268 p.
- ISO/IEC 17025:2005, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
- 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.
- Jiménez, D.L. 2006. Estudio de impacto ambiental generado por un derrame de hidrocarburos sobre una zona estuarina, aledaña al terminal de ecopetrol en Tumaco. (tesis de pregrado). Ingeniería Ambiental Sanitaria. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.
- 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.
- Kemmer, F. y McCallion, J. 1999. Manual de Agua (su naturaleza, tratamiento y aplicaciones), Nalco Chemical Company, Editorial McGraw-Hill, 55-70 pp. México.
- 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.
- Kiefer, I, Odermatt, D, Anneville, O, Wüest, A. & Bouffard, D. 2015. Application of remote sensing for the optimization of in-situ sampling for monitoring of phytoplankton abundance in a large lake. *Science of the Total Environment*, 527, 493-506.
- Kim, Y. H, Son, S, Kim, H. C, Kim, B, Park, Y. G, Nam, J. & Ryu, J. 2020. Application of satellite remote sensing in monitoring dissolved oxygen variabilities: A case study for coastal waters in Korea. *Environment international*, 134, 105301.





- Lagos, A., Angulo, A., Daza, A., Toro, D., Gonzales, J., Leon, V. y Quiroga, S. (2014). Zooplancton. Infozoa. Boletín de Zoología. Universidad Del Magdalena, 3, 1-24.
- Lechuga M.M. 2005. Biodegradación y toxicidad de tensioactivos comerciales. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Barcelona. Barcelona, España, 461 pp.
- 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, J., Manzano, M., Hurtado, M., Piña, P., Hernandez, O., Zatarian, O., & Hernandez, F. (2016). Fitoplancton: pequeños centinelas del Océano. Ciencias, 1-9.
- López-Ortega, M, Pulido, G, Serrano, A, Gaytán, J, Monks, W. y López, M. 2012. Evaluación de las variables físicoquímicas del agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. Revista Científica UDO Agrícola 12 (3): 713-719.
- 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.
- Marín, G.L. 2007. Aproximación ecotoxicológica a la contaminación por metales pesados en la laguna costera del Mar Menor. Memoria presentada para optar al grado de doctor en biología. Departamento de ecología e hidrología. Facultad de Biología. Universidad de Murcia. 212 p.
- Márquez, B., Troccoli, L., Marín, B., & Díaz-Ramos, J. R. (2018). Abundancia y distribución del zooplancton superficial de la zona costera Arapito-Santa Fe, Estado Sucre, Venezuela. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, 47(2), 111-133.
- Millán, A. M. 2005. Cambios históricos en la composición y distribución de la malacofauna bentónica de la Ciénaga Grande de Santa Marta (Caribe Colombiano). Recuperado de: [http://hdl.handle.net/20.500.12010/1379Aiman M, E, & Mohsen M, Y. \(2014\). Statistical Estimation Of Rosetta Branch Water Quality Using Multi-Spectral Data. Water Science 28, 18-30. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110492914000216](http://hdl.handle.net/20.500.12010/1379Aiman M, E, & Mohsen M, Y. (2014). Statistical Estimation Of Rosetta Branch Water Quality Using Multi-Spectral Data. Water Science 28, 18-30. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110492914000216).





- MITSCH, W. J., BERNAL, B., Y HERNANDEZ, M. E. (2015). Ecosystem services of wetlands.
- 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.
- Montoya, Y., & Aguirre, N. (2013). Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. Gestión y Ambiente, Vol. 16 , 91-117.
- 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.
- Moschini-C, Pompêo M, Henry ER. Periphyton on Natural Substratum in the Jurumirim reservoir (São Paulo, Brasil): Community Biomass and Primary Productivity. *Intern J Ecol. Envir Sci.* 2001; 27:171-177. Doi: 10.1023/A:1004086623922.
- Organización mundial de la salud - OMS. 2017. Esquistosomiasis. Centro de prensa. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs115/es/>
- 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.
- Ortiz, P.L.J. y Morgado, G.W.B. 2009. Evaluación de la calidad ambiental de la ciénaga de Balboa, Municipio de Puerto Colombia, Caribe Colombiano. Trabajo de grado para optar al título de microbiólogo. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Libre. Barranquilla, Colombia. 130 p.
- 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.





- Parra, J.P y Espinosa, L.F. 2008. Distribución de metales pesados (Pb, Cd y Zn), en perfiles de sedimento asociados a Rizophora mangle, en el río Sevilla, Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Bol. Invest. Mar. Cost. 37(1) 95:110.
- 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.
- Perdomo C.H., C. O. (2001). Contaminación de aguas subterráneas con Nitratos y Coliformes en el Litoral sudoeste del Uruguay. AGROCIENCIA, 10-22.
- Perdomo Vanegas, A. 2015. Predicción de parámetros físico químicos de calidad del agua mediante el uso de sensores remotos: caso estudio Embalse del Neusa.
- 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.
- Qgis. 2021. Recuperado en: <https://qgis.org/es/site/about/index.html>
- Quintero, L, Agudelo, E, Quintana, Y, Cardona, S. y Osorio, A. 2010. Determinación de indicadores para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos. Gestion y Ambiente 13 (3), 51-64.
- Ramírez, A y Viña G. (1998). Limnología Colombiana: Aportes a su Conocimiento y Estadística de Análisis. Panamericana S.A. Bogotá, Colombia.
- Ramírez, A, Restrepo, R. & Cardeñoza, A.M. 1999. Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulación. Ciencia Tecnología y Futuro 1(5): 89-99.
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, Y. G. 1997. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. C T & F : ciencia, tecnología y futuro. (3), 135-153.
- Raraz, E. 2015. Determinación química toxicológica de plomo y cadmio en agua para consumo humano proveniente de los reservorios de la zona de San Juan Pampa - distrito de Yanacancha - Pasco. Tesis para optar al título profesional de Químico Farmacéutico. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. 83.p.





- 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 metalmeccánica. Publicaciones e Investigación, 16(1).SA
- Ríos-Tobón, S, Agudelo-Cadavid, R.M. y Gutiérrez-Builes, L.A. 2017. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Revista Facultad Nacional Salud Pública.
- Rivera, M.L. (2007). Validación del método de cromatografía iónica de los anions fluoruro, cloruro, nitrato, nitrito, bromuro, fosfato, sulfato y bromatos en muestras de agua. (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador).
- Rodier, J. (1998). Análisis de las aguas naturales, aguas residuales, agua de mar, Ediciones Omega S.A.
- 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.
- 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.
- Roldán, G, Y Ramírez, J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Roldán, G. (1992). Fundamentos de Limnología Neotropical. 1° edición. Editorial Universidad de Antioquia. Colección Ciencia y Tecnología U de A. 529 pp. Medellín, Colombia.
- Romero J.A. 1996. Acuiquímica. Presencia. Santafé de Bogotá. 56 pp.





- Romero, J. (2009). Calidad del agua (Tercera ed.). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- 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.
- Sawyer, C.N. & McCarty, P.L. 1978. *Chemistry for Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Sebastián-Frasquet, M. T, Aguilar-Maldonado, J. A, Santamaría-Del-Ángel, E, & Estornell, J. 2019. Sentinel 2 analysis of turbidity patterns in a coastal lagoon. *Remote Sensing*, 11(24), 2926.
- 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.
- Servindi. 2019. Conoce cuatro poderosas razones para evitar el dragado de los ríos. *Biodiversidad en América Latina*. <https://www.biodiversidadla.org/>
- Shiah, F.K., Kao, S.J., Gong, G.C., Liu, K.K., 1996. Spatial variability of phytoplankton production and the implications of its controlling mechanisms in the coastal zone near the river mouth of the Lanyang Hsi. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 37, 9-15.
- Shokuhi, R., Hosinzadeh, E., Roshanaei, G., Alipour, & M., Hoseinzadeh, S. 2012. Evaluation of Ayduhmush 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.
- Sierra-Ramírez, C.A. 2011. *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. 1ª Ed. Universidad de Medellín. Colombia. p 457.
- Singh, D. 1992. Studies on the water quality index of some major rivers of Pune, Maharashtra. *Proc. Acad. Environ. Biol.* 1, 61-66.





- Soltan, M. 1999. Evaluation of ground water quality in dakhla oasis (Egyptian Western Desert). *Environ. Monit. Assess.* 57, 157-168.
- Sri-Aroon, P, Butraporn, P, Limsomboon, J, Kerdpuech, Y, Kaewpoolsri, M. & Kiatsiri, S. 2005. Freshwater mollusks of medical importance in Kalasin Province, northeast Thailand. *Southeast Asian journal of tropical medicine and public health*, 36(3), 653. Disponible en: <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/TMPH/10601424.pdf>
- 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.
- Tróccoli, L.G, Herrera-Silveira, J.A. & Comin, F.A. 2004. Structural variations of phytoplankton in coastal seas of Yucatan, México. *Hydrobiologia* 519 (1-3): 85-102.
- U.S. Environmental Protection Agency. Folleto informativo de tecnologías de las aguas residuales. EPA Washington DC:832-F00-024, sept. 2000.
- Uherkovich, G. y H. Rai. (1979). Aigen aus dem Río Negro und seinen Nebenflüssen. *Amazoniana*, 6, 611-638.
- Vaconcelos, U, Gomes, M. y Torres, G. 2010. *Pseudomonas aeruginosa* associated with negative interactions on coliform bacteria growth. *Canadian Journal of pure & applied Sciences*, 4: 1133-1139.
- Vergara, A.D. y Velásquez, L.E. 2009. Larvas de DIGENEA en *Melanoides tuberculata* (GASTROPODA: THIARIDAE), EN Medellín, Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 14(1): 135-142. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v14n1/v14n1a08.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.
- Vivas-Aguas, L.J, Tomic, M, Narváez, S, Cadavid, B, Bautista, P, Betancourt, J, Parra, J, Carvajalino, M. y Espinosa, L. 2012. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental





marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. -REDCAM. Informe técnico 2011. INVEMAR. Santa Marta, 229 p.

- Wetzel RG. (2001). Limnology: Lake and river ecosystems. 3a ed. Academic Press. San Diego, E.U. A.
- Wetzel, J. (2001). A production method for freshwater prawn in Illinois Ponds. Rural Enterprise and Alternative Development Initiative Report. Report, 10, 1-13.
- Wetzel, R. 1981. Limnología. Omega. Barcelona, España. 679 pp.
- 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.
- Yunpeng, W. & Guoying, S. 2004. Water quality change in reservoirs of Shenzhen China detection. Science of the Total Environment 328, 195-206. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969704001007>.
- Zaghoul, 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.





## 7. ANEXOS

A continuación, en la **Tabla 43** se presentan los anexos del presente informe técnico.

**Tabla 43. Anexos del informe técnico.**

Anexo	Laboratorio	Archivo	Páginas
<b>Anexo 1.</b> Reportes de laboratorio	SERAMBIENTE S.A.S.	Reporte SERAMBIENTE	3
		Reporte SERAMBIENTE_B	14
	HIDROLAB	Reporte HIDROLAB	6
	CHEMICAL LABORATORY S.A.S.	Reporte CHEMILAB	6
<b>Anexo 2.</b> Formatos de campo	SERAMBIENTE S.A.S.	Cadenas de custodia-ASUP	3
		Plan de monitoreo-ASUP	4
		Planillas de campo-ASUP	6
		Formatos de campo_B	8
		Cadena de custodia_B	1
<b>Anexo 3.</b> Resolución de acreditación del IDEAM	SERAMBIENTE S.A.S.	Resolución 2577 de 2022	30
		Comunicado vigencia de acreditación del IDEAM SA	3
		Resolución 2242 de 2022	12
	HIDROLAB	Comunicado de vigencia resolución de acreditación HIDROLAB	3
		CHEMICAL LABORATORY S.A.S.	Resolución 2234 de 2022
			Comunicado de vigencia resolución de acreditación CHEMILAB
<b>Anexo 4.</b> Hojas de cálculo incertidumbre			
<b>Anexo 5.</b> Registro fotográfico			

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





## 8. HISTÓRICOS DE CAMBIOS

**Tabla 44. Históricos de cambios.**

Versión	Fecha	Descripción de la modificación	Revisado por	Aprobado por

**FIN DEL INFORME)**

