



OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA – EMBALSE CALIMA Y TRIBUTARIOS PRIORIZADOS

DOCUMENTO TÉCNICO SOPORTE



Convenio interadministrativo No 168 de 2022

**CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – CVC
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - UDEA**

Santiago de Cali, septiembre de 2024

Tabla de contenido

1. Antecedentes.....	9
1.1. Ubicación del cuerpo de agua.....	9
1.2. Delimitación del área de estudio	10
1.3. Localización y caracterización de las redes hidrometeorológicas y de calidad hídrica existentes	12
1.3.1. Redes hidrometeorológicas existentes.....	12
1.3.2. Redes de monitoreo de calidad existentes	15
2. Usos y usuarios del agua.....	16
2.1. Censo de usuarios.....	16
2.1.1. Captaciones	16
2.1.2. Vertimientos.....	18
3. Calidad del agua.....	18
3.1. Tramos o sectores de análisis.....	19
3.1.1. Tramos del río Calima	19
3.1.2. Tramos de la quebrada San José.....	20
3.1.3. Tramos quebrada PTAR.....	20
3.2. Monitoreo de la calidad del agua.....	22
3.3. Resultados del monitoreo de calidad y cantidad.....	23
3.3.1. Monitoreo de calidad del agua Embalse Calima.....	24
3.3.2. Monitoreo de calidad del agua tributarios.....	47
3.3.3. Monitoreo de vertimientos.....	55
3.4. Resultados monitoreo hidrobiológico	59
3.5. Resultados Monitoreo Embalse Calima.....	59
3.5.1. Cianobacterias	59
3.5.2. Fitoplancton.....	64
3.5.3. Plantas acuáticas	71
3.5.4. Zooplancton.....	71
3.5.5. Macroinvertebrados.....	74
3.5.6. Peces	77
3.6. Resultados Monitoreo tributarios priorizados.....	80
3.6.1. Perifiton – Tributarios priorizados.....	80
3.6.2. Macroinvertebrados – Tributarios priorizados	84



3.7. Índices de calidad y contaminación	95
3.7.1. Índice de calidad del agua.	95
El índice de calidad de agua (ICA), es una medida que evalúa el grado de calidad de un cuerpo de agua, a partir de algunos parámetros que determinan la idoneidad de esté para diferentes usos. Este índice tiene en cuenta diversos parámetros fisicoquímicos de calidad de agua como la concentración de oxígeno disuelto (% saturación), los sólidos suspendidos totales (SST), la demanda química de oxígeno, (DQO), la conductividad eléctrica (CE) y el valor del potencial de hidrógeno (pH) de cada uno de los cuerpos estudiados (IDEAM, s.f.). Esto, con el fin de evaluar la calidad del agua para los diferentes usos asociados, dándole un valor de 0,00 hasta 1,00, los cuales determinan una señal de alerta según el grado de contaminación del cuerpo de agua.	95
3.7.2. Índice de contaminación por materia orgánica	98
3.7.3. Índice de contaminación por trofia	101
3.7.4. Índice de calidad del agua – BMWP	102
4. Modelación de la calidad del recurso hídrico	104
4.1. Definición de la estructura conceptual para la modelación de la calidad del agua	104
4.2. Formulación y simulación de escenarios	106
5. Usos actuales y potenciales del recurso hídrico	109
6. Definición de objetivos y criterios de calidad por usos	112
7. Programa de seguimiento y monitoreo del recurso hídrico	119
7.1. Estaciones de seguimiento y monitoreo del recurso hídrico	119
8. Programas y proyectos la prevención y control del fenómeno de floraciones de cianobacterias y contaminación en el embalse Calima	121
8.1. Saneamiento y descontaminación de las fuentes hídricas	122
9. CONCLUSIONES	130
10. REFERENCIAS	131



Listado de tablas

Tabla 1. Localización de las estaciones de monitoreo sobre el embalse Calima	10
Tabla 3. Codificación de los cuerpos de agua con respecto a la zonificación hidrográfica nacional.....	11
Tabla 4. Estaciones hidrometeorológicas asignadas por el IDEAM.....	13
Tabla 5. Estaciones de monitoreo de calidad del agua en el área de estudio.	15
Tabla 6. Usuarios del recurso hídrico - Captaciones.....	17
Tabla 7. Localización de los puntos de vertimientos a monitorear.....	18
Tabla 8. Localización de los tramos del río Calima.....	19
Tabla 9. Localización de los tramos de la quebrada San José.....	20
Tabla 10. Localización de los tramos de la quebrada PTAR.....	20
Tabla 11. Localización de las estaciones de monitoreo definidas para los cuerpos de agua en estudio	22
Tabla 12. Resultados de los parámetros monitoreados In Situ – Estación Cola del Embalse	24
Tabla 13. Resultados de los parámetros monitoreados en el laboratorio – Estación Cola del Embalse.....	24
Tabla 14. Resultados de los parámetros monitoreados In Situ – Estación Salida PTAR... ..	27
Tabla 15. Resultados de los parámetros monitoreados en el laboratorio – Estación Salida PTAR	28
Tabla 16. Resultados de los parámetros monitoreados In Situ – Estación Entradas 4 y 5	31
Tabla 17. Resultados de los parámetros monitoreados en el laboratorio – Estación Entradas 4 y 5.....	32
Tabla 18. Resultados de los parámetros monitoreados In Situ – Estación Puerto Buga	34
Tabla 19. Resultados de los parámetros monitoreados en el laboratorio – Estación Puerto Buga	36
Tabla 20. Resultados de los parámetros monitoreados In Situ – Estación Centro del Embalse	39
Tabla 21. Resultados de los parámetros monitoreados en laboratorio – Estación Centro del Embalse.....	40
Tabla 22. Resultados de los parámetros monitoreados In Situ – Estación Cabeza del Embalse	43
Tabla 23. Resultados de los parámetros monitoreados en laboratorio – Estación Cabeza del Embalse.....	44
Tabla 24. Resultados de los parámetros In Situ medidos en el río Calima	47
Tabla 25. Resultados de los parámetros In Situ medidos en la quebrada San José.....	48
Tabla 26. Resultados de los parámetros In Situ medidos en la quebrada PTAR	48
Tabla 27. Resultados de parámetros medidos en laboratorio para las estaciones del río Calima	49
Tabla 28. Resultados de parámetros medidos en laboratorio para las estaciones de la quebrada San José	51



Tabla 29. Resultados de parámetros medidos en laboratorio para las estaciones de la quebrada PTAR	53
Tabla 30. Número de colonias según especie en muestras de arrastre para las 4 campañas	63
Tabla 31. Nombres de las estaciones de muestreo y su abreviación con respecto a la profundidad.....	64
Tabla 32. Compilado de resultados asociado a análisis de fitoplancton para las 4 campañas de monitoreo.....	68
Tabla 33. Abundancias de macroinvertebrados por estación y campaña de monitoreo	76
Tabla 34. Abundancia de peces recolectados en las estaciones del embalse Calima para las cuatro campañas.....	79
Tabla 35. Abundancia por taxa de macroinvertebrados en cada estación de monitoreo de la Quebrada PTAR.....	85
Tabla 36. Índices de bioindicación para las estaciones de la Quebrada PTAR.....	85
Tabla 37. Abundancia por taxa en cada estación de monitoreo en Río Calima para ambas campañas de monitoreo.....	87
Tabla 38. Índices de bioindicación para las estaciones del río Calima.....	89
Tabla 39. Abundancias por Taxa	90
Tabla 39. Índices de bioindicación para las estaciones de la Quebrada San José	94
Tabla 41. Calificación de la calidad del agua según el ICA.- IDEAM	95
Tabla 42. Calificación de la calidad del agua según el ICOMO.	98
Tabla 43. Calificación de la calidad del agua según el ICOTRO	101
Tabla 44. ICOTRO - para los sitios de muestreo en el embalse Calima.	101
Tabla 45. Código de color y puntajes del BMWP	102
Tabla 46. BMWP – Para las estaciones de monitoreo sobre los tributarios priorizados... ..	102
Tabla 47. Sectorización del embalse Calima y sus estaciones de referencia	109
Tabla 48. Usos actuales y potenciales de los tramos y/o estaciones de los cuerpos de agua.....	110
Tabla 48. Usos actuales y potenciales de los sectores del embalse Calima	111
De este modo, las estrategias a implementar se ajustaron las necesidades del cumplimiento de los criterios de calidad expuestos en la Tabla 50 para los tributarios priorizados y en la Tabla 50 para el embalse Calima.	112
Tabla 51. Usos y criterios de calidad para el río Calima, la quebrada San José y la quebrada PTAR	113
Tabla 52. Usos y criterios de calidad para los sectores del embalse Calima	116
Tabla 53. Estaciones de monitoreo definidas para los sectores del embalse Calima y sus tributarios priorizados.....	119
Tabla 54. Proyecto – Optimizar el tratamiento existente de la planta de tratamiento de agua residual - PTAR - del municipio de Calima El Darién.	122
Tabla 55. Implementación de nuevo tratamiento terciario en la planta de tratamiento de agua residual - PTAR - del municipio de Calima El Darién.	123
Tabla 56. Aprovechamiento de las plantas acuáticas (macrófitas) en la regulación de la calidad del agua en el embalse Calima.	124

Tabla 57. Implementación de infraestructura integral para el saneamiento en cercanía del embalse Calima. 125

Tabla 58. Saneamiento de las aguas residuales que llegan a la quebrada San José. 125

Tabla 59. Capacitación de la comunidad estudiantil del municipio Calima Darién en la protección del embalse Calima 126

Tabla 60. Cuidado y conservación de los recursos naturales del embalse Calima a través de la inspección y vigilancia en el cumplimiento de las medidas normativas. 127

Tabla 61. Monitoreo de calidad de aguas en el embalse Calima y tributarios 128

Tabla 62. Control de las floraciones de cianobacterias y evaluación de la acumulación de cianotoxinas en peces del embalse Calima. 129

Listado de figuras

Figura 1. Localización de las estaciones de monitoreo sobre el embalse Calima..... 11

Figura 2. Espacialización de las estaciones hidrometeorológicas del IDEAM 15

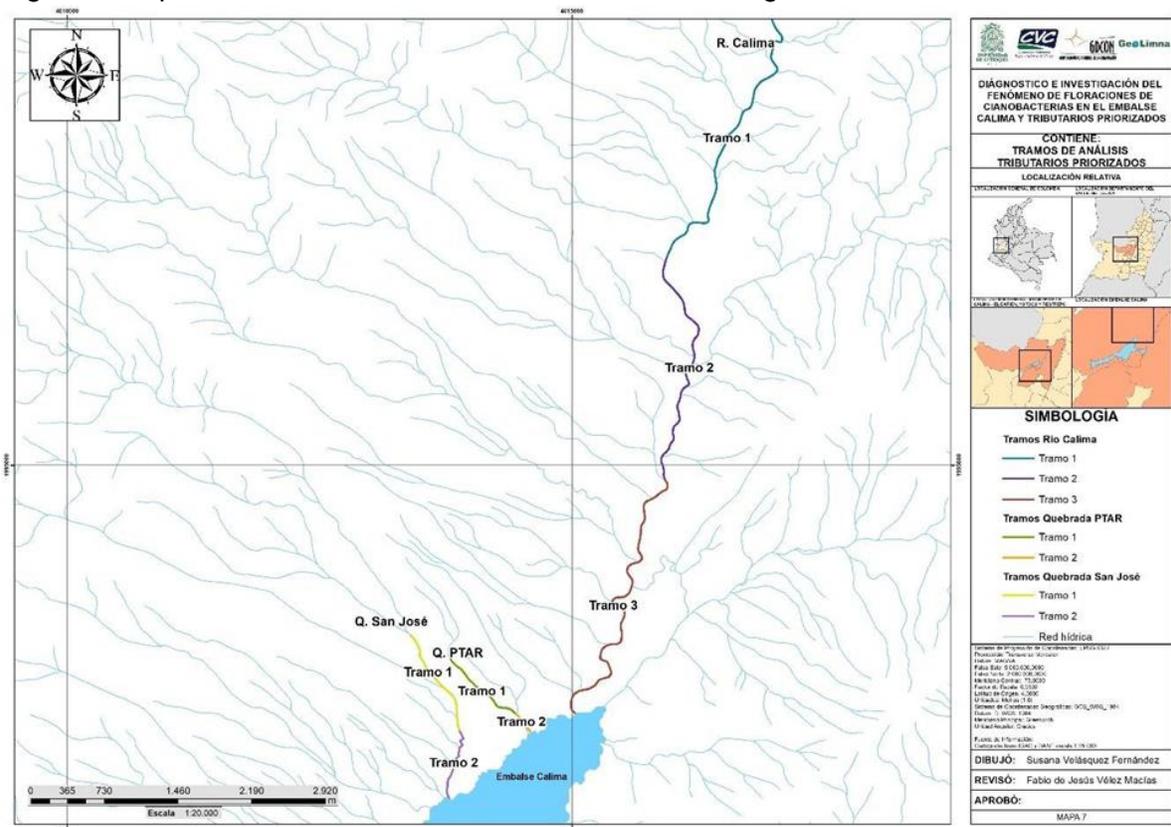


Figura 3. Localización de los tramos definidos para los tributarios priorizados. 22

Figura 4. Muestra estación salida PTAR municipal del embalse, campaña 1, vista en 40X, donde se puede observar los géneros Microcystis sp. Lado derecho y Aphanocapsa sp. lado izquierdo..... 60

Figura 5. Muestra de la Estación Cola del Embalse, campaña 2, vista en 100X, donde se puede observar las colonias del complejo Microcystis..... 60

Figura 6. Muestra estación salida PTAR municipal, campaña 3, vista en 40X, donde se puede observar los géneros <i>Microcystis</i> sp. Lado derecho y <i>Aphanocapsa</i> sp. lado izquierdo.....	61
Figura 7. Muestra estación salida PTAR municipal del embalse, campaña 4, vista en 40X, donde se puede observar los géneros <i>Microcystis</i> sp. Lado derecho y <i>Aphanocapsa</i> sp. Lado izquierdo.....	61
Figura 8. Densidad poblacional de Fitoplancton perteneciente a cada estación de muestreo, campaña 1.....	65
Figura 9. Densidad poblacional de Fitoplancton perteneciente a cada estación de muestreo, campaña 2.....	66
Figura 10. Densidad poblacional de Fitoplancton perteneciente a cada estación de muestreo, campaña 3.....	66
Figura 11. Densidad poblacional de Fitoplancton perteneciente a cada estación de muestreo, campaña 4.....	67
Figura 12. Planta Acuáticas del Embalse Calima – Estación Salida PTAR.....	71
Figura 13. Densidad poblacional de Zooplancton perteneciente a cada estación de muestreo, campaña 1.....	72
Figura 14. Densidad poblacional de Zooplancton perteneciente a cada estación de muestreo, campaña 3.....	72
Figura 15. Densidad poblacional de Zooplancton perteneciente a cada estación de muestreo, campaña 4.....	72
Figura 16. Zooplancteres más comunes campaña 1, muestras de arrastres. (a) <i>Keratella</i> (b) <i>Bosmina</i> cf <i>Longirostris</i>	73
Figura 17. Zooplancton observado en muestras de arrastre campaña 2. (a) <i>Bosmina</i> cf <i>Longirostris</i> . (b) <i>Keratella</i> (c,d) Copépodos.....	74
Figura 18. Zooplancton observado en muestras de arrastre, campaña 4. (a) <i>Bosmina</i> cf <i>Longirostris</i> , (b) <i>Keratella</i> (c) Copépodo, (d) <i>Trichocerca</i>	74
Figura 19. Total de individuos de macroinvertebrados por estación, campaña 1.....	75
Figura 20. Total de individuos de macroinvertebrados por estación, campaña 3.....	75
Figura 21. Total de individuos de macroinvertebrados por estación, campaña 4.....	76
Figura 22. Total de especies de peces por estación de muestreo, campaña 1.....	78
Figura 23. Total de especies de peces por estación de muestreo, campaña 2.....	78
Figura 24. Total de especies de peces por estación de muestreo, campaña 3.....	78
Figura 25. Total de especies de peces por estación de muestreo, campaña 4.....	79
Figura 26. Densidad poblacional de perifiton perteneciente a cada estación de muestreo – Quebrada PTAR, campaña 2.....	81
Figura 27. Densidad poblacional de perifiton perteneciente a cada estación de muestreo – Quebrada PTAR, campaña 3.....	81
Figura 28. Densidad poblacional de perifiton perteneciente a cada estación de muestreo – Río Calima, campaña 2.....	82
Figura 29. Densidad poblacional de perifiton perteneciente a cada estación de muestreo – Río Calima, campaña 3.....	83
Figura 30. Densidad poblacional de perifiton perteneciente a cada estación de muestreo – Quebrada San José, campaña 2.....	84

Figura 31. Densidad poblacional de perifiton perteneciente a cada estación de muestreo – Quebrada San José, campaña 3	84
Figura 32. ICA IDEAM - para las estaciones de monitoreo en el Embalse Calima para las 4 campañas de monitoreo	96
Figura 33. ICA IDEAM - para los sitios de muestreo en el río Calima en las dos campañas de monitoreo	96
Figura 34. ICA IDEAM - para los sitios de muestreo en la quebrada San José en las dos campañas de monitoreo	97
Figura 35. ICA IDEAM - para los sitios de muestreo en la quebrada PTAR en las dos campañas de monitoreo	98
Figura 36. ICOMO - para los sitios de muestreo en el Embalse Calima en las cuatro campañas	99
Figura 37. ICOMO - para los sitios de muestreo en río Calima en las dos campañas	99
Figura 38. ICOMO - para los sitios de muestreo en la quebrada San José.	100
Figura 39. ICOMO - para los sitios de muestreo en la quebrada asociada la PTAR.....	100
Figura 40. Triplot Macroinvertebrados RDA.....	104
El esquema con la topología correspondiente a las corrientes, para la simulación de calidad del agua por medio del modelo computacional Qual-2K, donde se describen los aportes o extracciones codificadas se presentan en la Figura 41.....	104
Figura 42. Modelo conceptual del río Calima	105
Figura 43. Modelo conceptual de la quebrada San José.....	105
Figura 44. Modelo conceptual de la quebrada PTAR	106
Figura 45. Simulaciones de variables de estado para los escenarios de corto, mediano, y largo plazo en la quebrada San José. (a) Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). (b) Sólidos suspendidos inorgánicos (mg/L). (c) Oxígeno disuelto ($\text{mg O}_2/\text{L}$). (d) DBO lenta ($\text{mg O}_2/\text{L}$). (e) DBO rápida ($\text{mg O}_2/\text{L}$). (f) Nitrógeno orgánico ($\text{mg N}/\text{L}$). (g) Amonio ($\text{mg N}/\text{L}$). (h) Nitratos ($\text{mg N}/\text{L}$). (i) Fósforo orgánico ($\text{mg P}/\text{L}$). (j) Fósforo inorgánico ($\text{mg P}/\text{L}$). (k) Fitoplancton ($\text{mg Cl-A}/\text{L}$). (l) Coliformes totales ($\text{UFC}/100 \text{ mL}$). (m) Coliformes fecales ($\text{UFC}/100 \text{ mL}$). (n) Alcalinidad ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$) (o) pH.....	107
Figura 46. Simulaciones de variables de estado para los escenarios de corto, mediano, y largo plazo en la quebrada PTAR. (a) Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). (b) Sólidos suspendidos inorgánicos (mg/L). (c) Oxígeno disuelto ($\text{mg O}_2/\text{L}$). (d) DBO lenta ($\text{mg O}_2/\text{L}$). (e) DBO rápida ($\text{mg O}_2/\text{L}$). (f) Nitrógeno orgánico ($\text{mg N}/\text{L}$). (g) Amonio ($\text{mg N}/\text{L}$). (h) Nitratos ($\text{mg N}/\text{L}$). (i) Fósforo orgánico ($\text{mg P}/\text{L}$). (j) Fósforo inorgánico ($\text{mg P}/\text{L}$). (k) Fitoplancton ($\text{mg Cl-A}/\text{L}$). (l) Coliformes totales ($\text{UFC}/100 \text{ mL}$). (m) Coliformes fecales ($\text{UFC}/100 \text{ mL}$). (n) Alcalinidad ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$). (o) pH.....	108
Figura 47. Sectorización del embalse Calima y sus estaciones de referencia.....	109

Introducción

La calidad del agua es un componente esencial para la sostenibilidad ambiental, el bienestar humano y el equilibrio de los ecosistemas acuáticos. En este contexto, el embalse Calima, localizado en el suroccidente de Colombia, en el departamento del Valle del Cauca, representa un recurso hídrico de importancia estratégica. Su uso abarca desde la generación de energía hidroeléctrica y el abastecimiento de agua potable, hasta actividades recreativas y de pesca, lo que lo convierte en un eje fundamental para el desarrollo de la región.

Sin embargo, el embalse enfrenta crecientes desafíos asociados a la calidad del agua, debido a factores como el aumento de la presión antrópica, vertimientos no tratados y procesos naturales como las floraciones de cianobacterias. Estos problemas generan implicaciones ambientales y sociales significativas, impactando la salud de los ecosistemas y de las comunidades que dependen del recurso.

El presente documento técnico, elaborado en el marco del Convenio Interadministrativo No. 168 de 2022 entre la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y la Universidad de Antioquia, tiene como objetivo definir y justificar los objetivos de calidad del agua para el embalse Calima y sus tributarios priorizados. Este trabajo se fundamenta en análisis exhaustivos de las condiciones actuales de calidad del agua, sus tendencias históricas y las presiones ambientales existentes, integrando criterios técnicos, ecológicos y normativos.

La información presentada no solo busca apoyar la gestión integral de este recurso hídrico, sino también proporcionar una base sólida para la toma de decisiones orientadas a la conservación del embalse, el cumplimiento de la normativa ambiental y la mejora de los servicios ecosistémicos que este cuerpo de agua ofrece a la región.

1. Antecedentes

1.1. Ubicación del cuerpo de agua

El embalse Calima se encuentra ubicado en el suroccidente del país en el departamento del Valle del Cauca en jurisdicción de los municipios de Cali - El Darién, Restrepo y Yotoco. Fue construido en 1967 al represar las aguas del río Calima, inundando 1.934 hectáreas alcanzando un volumen total almacenado de 581 millones de m³. Actualmente, tiene una superficie de 19,34 km², con 13 km de largo y 1,5 km de ancho, un volumen máximo de 529 millones de m³ y un nivel mínimo de 118 millones de m³. Debido a que el embalse Calima se sitúa en una

cuenca de montaña, rodeado por la cordillera Occidental de los Andes, presenta una alta variabilidad de vientos y precipitaciones a lo largo del año, siendo octubre uno de los meses más húmedos y lluviosos en esta zona, y el mes de marzo el más cálido (Colparques, 2022). La región alrededor del embalse es un destino popular para actividades recreativas como la navegación, la pesca y el avistamiento de aves. También es un importante recurso hídrico para la región, utilizado para la generación de energía hidroeléctrica y para el abastecimiento de agua potable.

1.2. Delimitación del área de estudio

Debido a su gran extensión, el embalse Calima cuenta con diversos sistemas de zonas de convergencia de agua, por lo cual para la delimitación del área de estudio se seleccionaron los tres (3) puntos de monitoreo existentes sobre el embalse monitoreados laboratorio ambiental de la Corporación (cabeza, centro y cola) de los cuales se cuenta con información histórica de la calidad del agua. La selección de los tres (3) puntos de monitoreo adicionales se seleccionaron a partir del análisis de la carga contaminante del sector del embalse (Descarga de la PTAR municipal), eventos anteriores de floraciones de cianobacterias (Puerto Buga) y los altos contenidos de coliformes totales (Entradas 4 y 5). A continuación, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la Figura 2 se presentan las localizaciones de las estaciones de monitoreo del embalse.

Tabla 1. Localización de las estaciones de monitoreo sobre el embalse Calima

Nombre de la estación	Etiqueta	Coordenadas*	
		Latitud (N)	Longitud (W)
Cola del embalse	E1	1.992.413	4.615.174
Efluente PTAR municipal	E2	1.992.169	4.614.659
Entradas 4 – 5	E3	1.990.694	4.612.684
Puerto Buga	E4	1.987.362	4.612.682
Centro del embalse	E5	1.988.722	4.610.142
Cabeza del embalse (Presa)	E6	1.986.618	4.605.230

Nota: * Coordenadas en sistema de referencia Origen Nacional

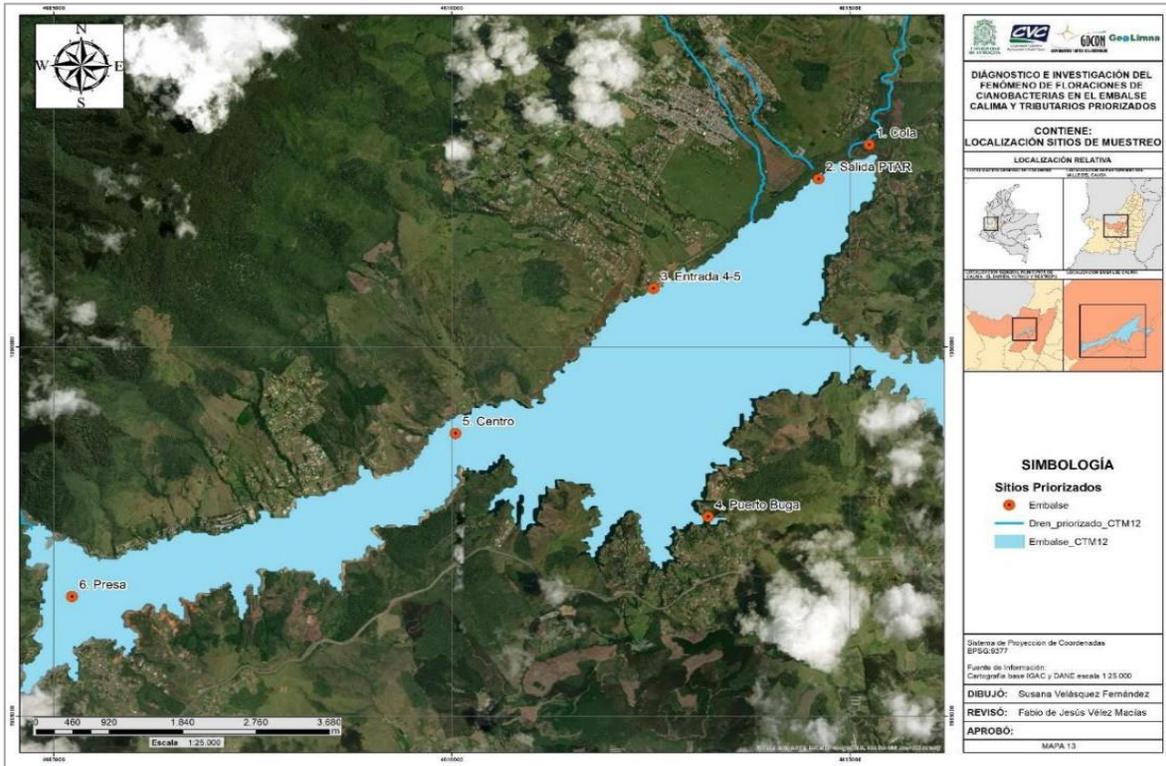


Figura 1. Localización de las estaciones de monitoreo sobre el embalse Calima

Adicionalmente, para la priorización de los tributarios del embalse Calima se realizó análisis de las cargas contaminantes aportadas y su relación con los afloramientos de cianobacterias, y la cantidad de agua servida al embalse. Por lo anterior, en términos de cargas contaminantes aportadas al embalse se priorizaron la quebrada San José y la quebrada que recibe el efluente de la planta de tratamiento de las aguas residuales – PTAR municipal, en términos de cantidad de agua, se priorizó el río Calima al ser cuerpo de agua represado para la construcción del embalse Calima.

En la Tabla 2 se presenta la codificación de los cuerpos de agua de acuerdo con la zonificación hidrográfica nacional. No obstante, dado que la quebrada receptora del efluente de la PTAR municipal no dispone de una codificación específica, con fines prácticos para el estudio se ha nombrado a este cuerpo de agua como "quebrada PTAR" y se le ha asignado el código correspondiente a la cuenca.

Tabla 2. Codificación de los cuerpos de agua con respecto a la zonificación hidrográfica nacional

Área hidrográfica	Zona hidrográfica	Subzona hidrográfica	Código	Cuenca	Código	Cuerpo de agua	Código
Pacífico	San Juan	Calima	5407	Río Calima zona embalse	5407201020000	Río Calima	5407201010000
						Q. PTAR	5407201000000
						Q. San José	5407201020500

1.3. Localización y caracterización de las redes hidrometeorológicas y de calidad hídrica existentes

En el marco del presente proyecto, se identificaron y localizaron las estaciones hidrológicas, climatológicas y de calidad de agua (físico-químicas) presentes en la zona de estudio. Se procedió a inventariar la información de cada una de ellas, considerando las redes nacionales, regionales y locales de observación y medición de las distintas entidades.

Para llevar a cabo el inventario de la información existente en cada estación, se consideraron la fecha inicial y final del registro, el tipo de estación, las variables medidas, la escala temporal del registro, los sitios de muestreo y la entidad responsable de la toma de muestras y del análisis de laboratorio, en los casos en que así correspondiera.

1.3.1. Redes hidrometeorológicas existentes

El embalse Calima dispone de un monitoreo hidrometeorológico que incluye varias estaciones fijas. En este monitoreo se detallan el nombre y código de cada estación, el municipio de localización, el tipo de estación, el estado de esta, las variables para las cuales se registran datos en el Geoportal del IDEAM y la fecha de registro de dichos datos.

Adicionalmente, en la Tabla 3 se presentan las estaciones hidrometeorológicas asignadas por el IDEAM, sumando un total de treinta y tres (33) estaciones. De estas, doce (12) son pluviométricas, ocho (8) son limnigráficas, siete (7) son climáticas ordinarias, tres (3) son pluviográficas y tres (3) son limnimétricas. A continuación, en la Figura 2 se presenta la espacialización de la red de monitoreo hidrológica sobre la cuenca.

Tabla 3. Estaciones hidrometeorológicas asignadas por el IDEAM

Estación-Código	Localización	Tipo de estación	Estado	VARIABLES REPORTADAS IDEAM	Fecha inicio	Fecha fin	Fecha última-Datos IDEAM
PRESA LA [54077180]	Calima (El Darién)	Limnigráfica	Suspendida	--	Noviembre 15 de 1981	Diciembre 15 de 1983	--
MADRONAL [54077170]	Calima (El Darién)	Limnigráfica	Activa	--	Enero 15 de 1946	--	--
TESALIA LA [54070080]	Calima (El Darién)	Pluviométrica	Activa	precipitación total mensual, Pluviométrico convencional, Días con lluvia >= 0,1 mm	Abril 15 de 1973	--	1981
TESALIA LA [54075090]	Calima (El Darién)	Climática Ordinaria	Activa	--	Abril 15 de 1973	--	--
QUIRAMA [54077080]	Calima (El Darién)	Limnigráfica	Activa	--	Marzo 15 de 1981	--	--
TUNEL DE FUGA [54077190]	Calima (El Darién)	Limnigráfica	Activa	--	Septiembre 15 de 1988	--	--
CAMPOALEGRE [54070140]	Calima (El Darién)	Pluviométrica	Suspendida	--	Noviembre 15 de 1979	Diciembre 15 de 1987	--
PLATANILLO [54077020]	Calima (El Darién)	Limnigráfica	Suspendida	--	Septiembre 15 de 1981	Noviembre 15 de 1989	--
PALERMO [54075030]	Calima (El Darién)	Climática Ordinaria	Activa	precipitación total mensual pluviométrico convencional, Días con lluvia >= 0,1 mm	Abril 15 de 1966	--	1981
CAMPOALEGRE [54075080]	Calima (El Darién)	Climática Ordinaria	Activa	--	Marzo 15 de 1985	--	--
BERLIN [54070050]	Calima (El Darién)	Pluviométrica	Activa	precipitación total mensual día pluviométrico convencional, Días con lluvia >= 0,1 mm	Mayo 15 de 1974	--	1981
CUSUMBO EL [54070130]	Calima (El Darién)	Pluviométrica	Activa	Precipitación total mensual pluviométrico convencional, Días con lluvia >= 0,1 mm	Noviembre 15 de 1979	--	1981
RIO BRAVO [54070100]	Calima (El Darién)	Pluviométrica	Activa	precipitación total anual, precipitación total mensual, pluviométrico convencional, Días con lluvia >= 0,1 mm	Abril 15 de 1966	--	1985
GUACIRUMA [54077090]	Calima (El Darién)	Limnigráfica	Activa	--	Noviembre 15 de 1980	--	--
LIMONES [54070200]	Calima (El Darién)	Pluviométrica	Suspendida	--	Diciembre 15 de 1981	Junio 15 de 1992	--

Estación-Código	Localización	Tipo de estación	Estado	VARIABLES REPORTADAS IDEAM	Fecha inicio	Fecha fin	Fecha última-Datos IDEAM
	Darién)						
LORENA LA [54070070]	Calima (El Darién)	Pluviométrica	Activa	--	Marzo 15 de 1973	--	--
GAVIONES LOS [54077050]	Calima (El Darién)	Limnigráfica	Activa	Caudal medio diario, caudal medio mensual caudal medio anual, nivel medio mensual	Enero 15 de 1974	--	1995
PALMERA LA [54070040]	Calima (El Darién)	Pluviométrica	Suspendida	--	Abril 15 de 1966	Julio 15 de 1982	--
CRISTALINA LA [54070060]	Calima (El Darién)	Pluviométrica	Activa	precipitación total mensual pluviométrico convencional, días con lluvia >= 0,1 mm	Enero 15 de 1973	--	1981
SAMARIA [54070110]	Calima (El Darién)	Pluviométrica	Activa	precipitación total mensual pluviométrico convencional, días con lluvia >= 0,1 mm	Septiembre 15 de 1974	--	1981
EL DARIEN - AUT [54075110]	Calima (El Darién)	Limnimétrica	Activa	--	Junio 30 de 2017	--	--
QUIRAMA [54075070]	Calima (El Darién)	Climática Ordinaria	Suspendida	--	Febrero 15 de 1984	Octubre 15 de 1987	--
JULIO FERNANDEZ [53115030]	Restrepo (Valle del cauca)	Climática Ordinaria	Activa	--	Enero 15 de 1954	--	--
RESTREPO [53117030]	Restrepo (Valle del cauca)	Limnigráfica	Activa	--	Febrero 15 de 1990	--	--
JULIO FERNANDEZ -AUT [53115502]	Restrepo (Valle del cauca)	Climática Principal	Activa	--	Agosto 22 de 2013	--	--
BUENOS AIRES [26080240]	Yotoco	Pluviométrica	Activa	--	Junio 15 de 1971	--	--
BOSQUE YOTOCO [26085070]	Yotoco	Climática Ordinaria	Activa	--	Septiembre 15 de 1983	--	--
CANEY EL [26080190]	Yotoco	Pluviométrica	Activa	--	Mayo 15 de 1971	--	--
GARZONERO [26080170]	Yotoco	Pluviométrica	Activa	--	Octubre 15 de 1970	--	--
CHORROS LOS [26087020]	Yotoco	Limnimétrica	Suspendida	--	Enero 15 de 1946	Julio 15 de 1947	--
EL CANEY - AUT [26310020]	Yotoco	Pluviográfica	Activa	--	Junio 30 de 2017	--	--
BOSQUE DE YOTOCO - AUT [26315010]	Yotoco	Limnigráfica	Activa	--	Junio 30 de 2017	--	--
LOS CHORROS -	Yotoco	Pluviográfica	Activa	--	Junio 30 de	--	--

Estación-Código	Localización	Tipo de estación	Estado	Variables reportadas IDEAM	Fecha inicio	Fecha fin	Fecha últimos Datos IDEAM
AUT [26317010]					2017		

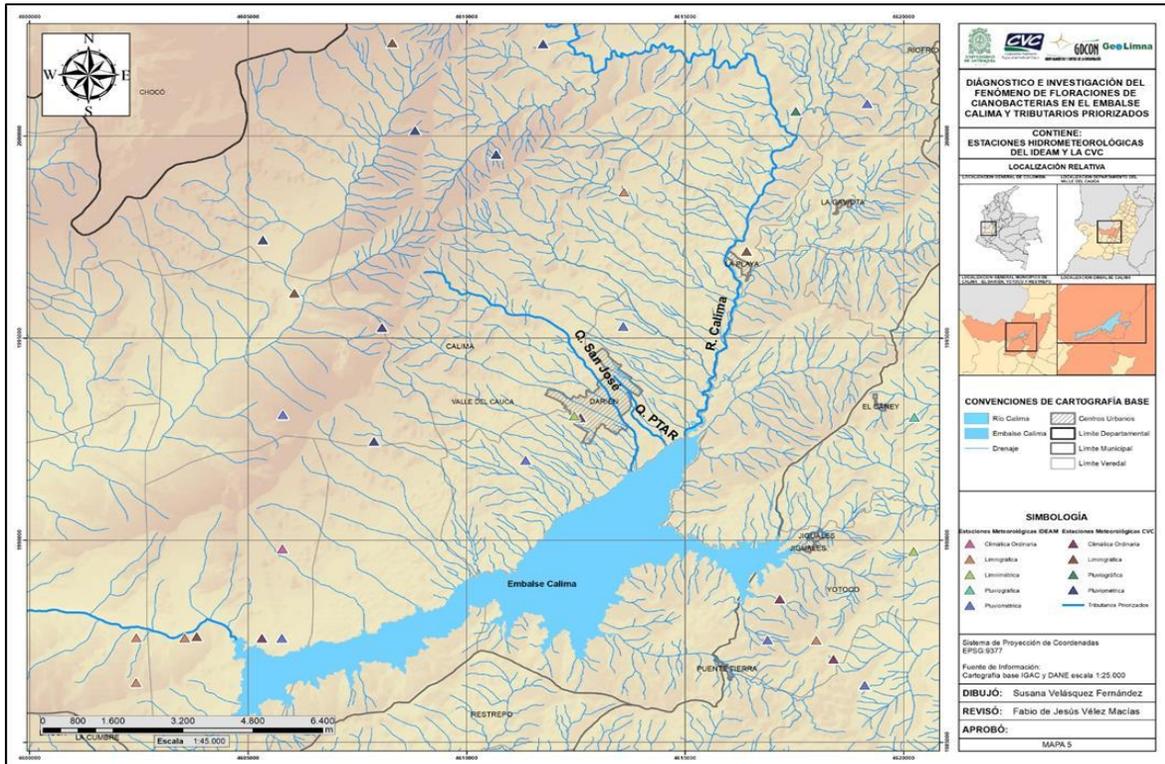


Figura 2. Espacialización de las estaciones hidrometeorológicas del IDEAM

1.3.2. Redes de monitoreo de calidad existentes

La red de monitoreo de calidad del agua de la Corporación desempeña un papel esencial al proporcionar datos valiosos que permiten evaluar y gestionar de manera efectiva los recursos hídricos. Por esta razón, se presentan seis (6) estaciones existentes de monitoreo de calidad del agua las cuales tienen registros de datos hasta el año 2021 (Tabla 4), las cuales están diseñadas para recopilar datos y dar una dinámica del sistema. Estas se encuentran distribuidas en la parte media y alta de la cuenca del río Calima, ubicada al noroccidente del departamento del Valle del Cauca.

Tabla 4. Estaciones de monitoreo de calidad del agua en el área de estudio.

Nombre	Tributario	Categoría	Coordenadas*		Municipio ubicación	Fecha inicio
			Latitud	Longitud		
Río Calima – vía La Cristalina	Río Calima	Ríos	2.001.463	4.616.847	Calima (El Darién)	Enero de 2017
Río Calima - Sector La Playa	Río Calima	Ríos	1.997.071	4.615.933	Calima (El Darién)	Enero de 2017
Río Calima - Antes Embalse Calima	Río Calima	Ríos	1.994.874	4.615.930	Calima (El Darién)	Julio de 1997
Río Calima, después del embalse	Río Calima	Ríos	1.987.730	4.602.946	Calima (El Darién)	Julio de 1997
Lago Calima - Cabeza	Embalse Calima	Embalse	1.992.207	4.614.752	Calima (El Darién)	Octubre de 1996
Lago Calima - Cola	Embalse Calima	Embalse	1.986.745	4.605.437	Calima (El Darién)	Octubre de 1996

Nota: * Coordenadas en sistema de referencia Origen Nacional

2. Usos y usuarios del agua

Para la definición de los objetivos de calidad es fundamental la identificación de los usuarios pertenecientes a los cuerpos de agua objeto de estudio, estableciendo el número de beneficiarios, su relación con las fuentes hídricas (captación y vertimiento), tipo de uso y formas en las que son intervenidas (obras hidráulicas), integrando cada uno de estos aspectos a los espacios geográficos en que se desarrollan.

2.1. Censo de usuarios

Para la identificación de los usuarios directos del embalse calima y sus tributarios priorizados, se llevó a cabo un censo de usuarios realizando recorridos por los márgenes de los cuerpos de agua identificando captaciones, vertimientos y obras hidráulicas, considerando tanto quienes hacen uso formal como de los que aún no se encuentran legalizados. Las zonas de estudio fueron visitadas junto con los funcionarios de las autoridades ambientales para facilitar la identificación de los sitios de interés e identificación de los usuarios. Adicionalmente, se realizó la revisión de los expedientes de concesiones de captaciones de agua y los permisos de vertimientos que reposan en el archivo de la Corporación, para validar la información sobre los usuarios formales.

2.1.1. Captaciones

En la Tabla 5 se presenta la información relacionada con las captaciones o concesiones sobre los tributarios río Calima y quebrada San José, se identificaron un total de once (11) usuarios los cuales captan el agua para uso agrícola, pecuario o consumo humano.

Tabla 5. Usuarios del recurso hídrico - Captaciones

Predio	Caudal (l/s)	Uso	Fuente	Coordenadas*	
				Latitud (N)	Longitud (W)
Condominio Campestre Vegas de Calima	2,76	Doméstico (73) lotes y riego de jardines (10.33 ha)	Quebrada San José	1.993.191	4.615.188
La Floresta	1,7	Piscícola, riego, abrevadero. domestico	Derivación segunda izquierda No. 4 Q. San José	1.994.662	4.612.740
El Rodeo	1,2	Doméstico para tres (3) viviendas, riego de pastos de corte y hortalizas, abrevadero para ganado y llenado de un lago	Quebrada San José	1.995.171	4.612.403
Tara	0,1	Riego y pastos	Quebrada San José	1.994.273	4.613.032
La Lucia	0,5	Riego	Quebrada San José	1.994.332	4.613.052
Paq Mas	5	Piscícola	Quebrada San José	1.995.847	4.613.117
Los Almendros Ca - 53	0,5	Doméstico y lavado de vehículos	Quebrada San José	1.993.731	4.613.360
Finca Villa Carolina	0,8	Pecuario y riego de cultivos	Acequia Los Solarte - Quebrada San José	1.993.956	4.613.038
El Placer	1,5	Piscícola	Quebrada San José	1.993.956	4.613.038
Canalex	0,94	Piscícola y riego	Quebrada San José	1.994.355	4.612.886
San Martín	1	Abrevadero y riego	Rio Calima	1.992.803	4.614.952

Nota: * Coordenadas en sistema de referencia Origen Nacional

2.1.1.1. Captaciones personas naturales y jurídicas

Para las personas naturales se tienen captaciones formales e informales, dentro de las formales se presenta una concesión de aguas de 5.496 L/s destinados para uso doméstico, agrícola y recreativo. Para las informales se presentan estructuras aguas debajo de la quebrada San José sin identificación final alguna.

Para las personas jurídicas, en la quebrada San José existen tres (3) usuarios con personería jurídica con concesiones de agua, para un caudal total de 1.355 L/s, para diferentes usos, como doméstico, pecuario, piscícola, entre otros. Para el río Calima se presenta una concesión para la sociedad agropecuaria Gualandai S.A.S de 0,05477 L/s en 2019 y una de 0,0063 L/s para el 2021, que aún no es efectiva por la empresa.

2.1.2. Vertimientos

Entre los usuarios generadores de vertimientos formalizados que cuentan con personería jurídica, se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales - PTAR Calima – El Darién, quien presta el servicio de alcantarillado en la zona urbana del municipio y descarga las aguas a la quebrada PTAR. La villa campestre Majagua, el centro vacacional y recreacional Comfandi y la empresa de energía Celcia.

La totalidad de las aguas residuales generadas en la cabecera municipal solo el 20% de las aguas son tratadas en la planta (Caudal promedio de 28,73 L/s), por lo tanto, el 80% que permanecen sin tratar llegan al embalse de manera directa (Caudal promedio de 53,95 L/s). Adicionalmente se presentan descargas de Comfandi (Caudal promedio 0,2830 L/s) Majagua (Caudal promedio 0,0950 L/s) y con menor carga Celcia (Caudal promedio de 0,0440 L/s). En la Tabla 6 se presenta la localización de los puntos de vertimientos a monitorear.

Tabla 6. Localización de los puntos de vertimientos a monitorear

Nombre del vertimiento	Etiqueta	Cuerpo de agua receptor	Coordenadas*	
			Latitud (N)	Longitud (W)
Efluente de la PTAR municipal	V1	Quebrada PTAR	1.992.647	4.614.306
Majagua Villa Campestre	V2	Embalse Calima	1.989.045	4.610.003
Centro Vacacional Comfandi	V3	Embalse Calima	1.987.804	4.607.414
Celcia	V4	Embalse Calima	1.986.000	4.604.660

Nota: * Coordenadas en sistema de referencia Origen Nacional

El río Calima y la quebrada San José presentan descargas puntuales sin previo tratamiento a cada uno de estos tributarios, principalmente de proveniencia doméstica.

3. Calidad del agua

La calidad del agua de lagos y embalses se ve afectada por una variedad de factores. Entre ellos, el aporte de nutrientes provenientes de la agricultura y la deforestación puede llevar al sistema a un estado de eutrofización, un proceso donde el exceso de nutrientes causa el crecimiento excesivo de algas u otros organismos fotosintéticos que a su vez reducen el oxígeno en el agua. La actividad humana es otro factor para considerar al realizar vertimientos directos o a través de cuerpos de agua tributarios.

El manejo y monitoreo de la calidad del agua en lagos y embalses son fundamentales para preservar la biodiversidad acuática y garantizar los niveles requeridos para sus distintos usos. Las técnicas de monitoreo incluyen el análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos, así como la implementación de políticas de gestión integrada que buscan reducir la contaminación y proteger los recursos hídricos.

3.1. Tramos o sectores de análisis

Debido a la gran extensión del embalse calima y las dinámicas naturales e intervención antrópica sobre el lago y sus tributarios priorizados, surge la necesidad de sectorizar o tramificar los cuerpos de agua objetos de estudio para su análisis.

Este ejercicio de sectorización se realizó a partir de múltiples criterios para obtener secciones homogéneas del lago y tributarios priorizados, y de esta forma, realizar el monitoreo de cada tramo o sector en una estación de referencia. A continuación, se presentan los criterios considerados para la sectorización.

- Hidrológicos
- Geomorfológicos
- Hidráulicos
- Ecológicos
- Cantidad y calidad del agua
- Usos del agua y usos del suelo

3.1.1. Tramos del río Calima

Para la definición de los tramos del río Calima, se utiliza principalmente la red de calidad de agua de la CVC, la cual segmenta el río en cuatro tramos antes de su entrada al embalse. El primer tramo, situado aguas arriba de la estación Vía La Cristalina, se encuentra en gran medida conservado. El segundo tramo muestra perturbaciones debido a actividades agrícolas y ganaderas. El tercer tramo, con un mayor número de viviendas y centros poblados, está más afectado por la presencia humana. El cuarto tramo, cercano al embalse, presenta una relativa homogeneidad en su geomorfología y en las actividades humanas. Los tramos para estudiar corresponden a los tres últimos, donde se encuentran las mayores intervenciones y podrían influir en las cargas de contaminantes del embalse.

Tabla 7. Localización de los tramos del río Calima

Tramo	Descripción	Longitud (m)	Coordenadas*			
			Inicio		Final	
			Latitud (N)	Longitud (W)	Latitud (N)	Longitud (W)
I	Desde: Punto de control Hasta: Puente Gaviones	1818	1.998.536	4.616.709	1.997.056	4.615.935
II	Desde: Puente Gaviones	2831	1.997.056	4.615.935	1.994.544	4.615.714

Tramo	Descripción	Longitud (m)	Coordenadas*			
			Inicio		Final	
			Latitud (N)	Longitud (W)	Latitud (N)	Longitud (W)
	Hasta: Puente La Primavera					
III	Desde: Puente La Primavera Hasta: Embalse	2771	1.994.544	4.615.714	1.992.572	4.615.013

Nota: * Coordenadas en sistema de referencia Origen Nacional

3.1.2. Tramos de la quebrada San José

La quebrada San José se dividirá en 2 tramos, cuya diferenciación se basa esencialmente en los usos del suelo y las actividades que alrededor se presentan. Esto, teniendo en cuenta además que sobre esta quebrada no se tiene ningún registro de información pública asociada a calidad del agua por parte de la CVC. Aun así, para poder analizar las fuentes de contaminación y la interacción con el recurso hídrico, se distingue una zona con importante presencia de viviendas, la cual se presenta antes del segundo tramo a analizar. Además, este primer tramo recibe las aguas de la quebrada El Sinaí, siendo un tributario significativo en la calidad del agua de la quebrada San José. El segundo tramo, es el más cercano al embalse y en términos de uso del suelo, se ve más asociado a ganadería, y en términos geomorfológicos, presenta una baja pendiente y sinuosidad.

Tabla 8. Localización de los tramos de la quebrada San José

Tramo	Descripción	Longitud (m)	Coordenadas*			
			Inicio		Final	
			Latitud (N)	Longitud (W)	Latitud (N)	Longitud (W)
I	Desde: Antes del casco urbano Hasta: Pueblo	12665	1.994.225	4.612.811	1.993.203	4.613.496
II	Desde: Pueblo Hasta: Embalse Calima	1975	1.993.203	4.613.496	1.991.690	4.613.756

Nota: * Coordenadas en sistema de referencia Origen Nacional

3.1.3. Tramos quebrada PTAR

Para la distinción de los tramos de la quebrada PTAR, se considera en particular los vertimientos realizados por parte de la PTAR municipal, en la que se presentan descargas de aguas residuales domésticas sin tratar y aguas residuales domésticas tratadas. Esta particularidad, influye significativamente en la calidad del agua de la quebrada por lo que considerar la influencia sobre un tramo es imprescindible. El segundo tramo, corresponde también al tramo más cercano al embalse.

Tabla 9. Localización de los tramos de la quebrada PTAR

Tramo	Descripción	Longitud (m)	Coordenadas*			
			Inicio		Final	
			Latitud (N)	Longitud (W)	Latitud (N)	Longitud (W)
I	Desde: Punto de control Hasta: Antes de la descarga de la PTAR	760	1.993.046	4.613.806	1.992.593	4.614.376
II	Desde: Antes de la descarga de la PTAR Hasta: Embalse Calima	1975	1.992.593	4.614.376	1.992.341	4.614.583

Nota: * Coordenadas en sistema de referencia Origen Nacional

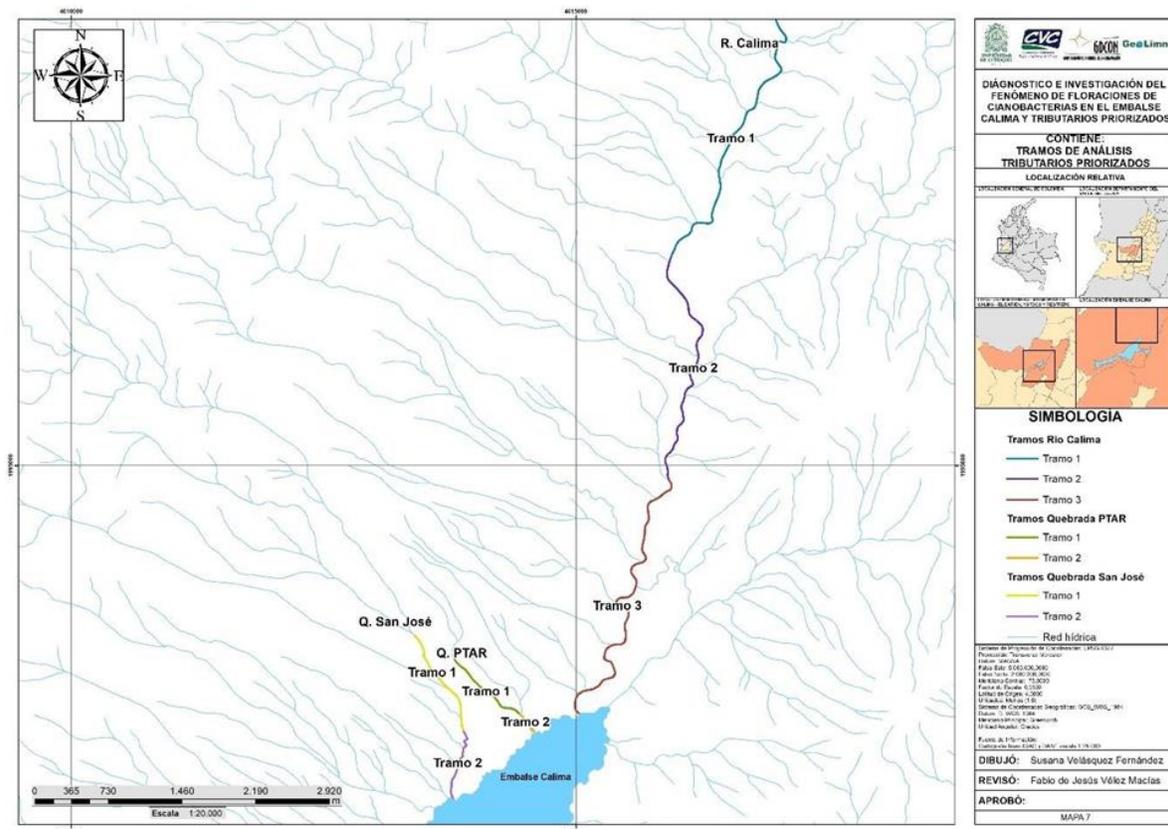


Figura 3, se presentan la localización de los tramos para cada uno de los tributarios priorizados

Nombre del cuerpo de agua	Estación	Etiqueta	Coordenadas*	
			Latitud (N)	Longitud (W)
	Entrada 4-5	E3	1.990.794	4.612.530
	Puerto Buga	E4	1.987.362	4.612.683
	Centro del embalse	E5	1.988.723	4.610.142
	Cabeza (presa)	E6	1.986.618	4.605.230
Río Calima	Punto de control	RC E1	1.998.536	4.616.720
	Puente Gaviones	RC E2	1.997.056	4.615.936
	Antes del Embalse	RC E3	1.994.545	4.615.714
	Después del Embalse	RC E4	1.987.928	4.601.777
Quebrada San José	Punto de control	QSJ E1	1.994.225	4.612.811
	Pueblo	QSJ E2	1.993.592	4.613.253
	Antes de Sinaí	QSJ E3	1.992.360	4.613.882
	Después de Sinaí	QSJ E4	1.992.516	4.613.849
Quebrada PTAR	Antes de la PTAR	QPTAR1	1.993.069	4.613.796
	Aguas debajo de la descarga	QPTAR2	1.992.535	4.614.439

Nota: * Coordenadas en sistema de referencia Origen Nacional

3.3. Resultados del monitoreo de calidad y cantidad

En cada una de las estaciones de interés se evaluaron diferentes parámetros a fin de conocer las condiciones al momento del muestreo. Para el embalse Calima, en las seis (6) estaciones (Cola del Embalse, Salida PTAR, Entrada 4-5, Puerto Buga, Centro y Cabeza (Presa)), se tomó registro a distintas profundidades de las variables; oxígeno disuelto, potencial redox, conductividad eléctrica, pH y temperatura. Adicionalmente, se registró la medición de la profundidad máxima y se determinó el límite de la zona fótica. Tanto para el embalse Calima como para los tributarios priorizados, se registraron las siguientes condiciones en cada monitoreo:

- Estado del tiempo en el momento de la toma de muestras.
- Tipo de sedimento de fondo.
- Presencia de piscinas, rápidos, escalones, pozos, acumulación de sedimentos (barras de punta, malos olores, basuras, objetos flotantes u obstáculos estructuras hidráulicas y ocupaciones de cauce).
- Porcentaje aproximado de cobertura de vegetación acuática (macrófitas)
- Porcentaje aproximado de cobertura de sedimento fino de fondo.
- Temperatura del aire.

- Humedad relativa.
- Cobertura de nubes.
- Porcentaje de sombra sobre el cuerpo de agua.

3.3.1. Monitoreo de calidad del agua Embalse Calima.

A continuación, se presentan los resultados In Situ y análisis de laboratorio para las cuatro campañas de monitoreo de la calidad del agua del embalse Calima, para cada una de las estaciones a distintas profundidades.

3.3.1.1. Estación - Cola del Embalse

- **Resultados de los parámetros medidos In Situ**

Tabla 11. Resultados de los parámetros monitoreados In Situ – Estación Cola del Embalse

Campaña	C1			C2			C3			C4		
Profundidad (m)	0,00	0,20	1,35	0,00	0,70	0,84	0,00	0,92	2,30	0,00	0,43	1,10
Temperatura (°C)	22,7	22,5	22,1	24,3	24,7	23,3	22,3	23,4	22,2	24,5	24,3	24,1
pH (UpH)	7,61	9,06	8,8	8,47	8,41	8,26	7,88	6,75	6,69	6,62	7,01	6,6
Oxígeno Disuelto (mg O ₂ /L)	6,7	6,86	6,9	7,66	7,51	7,69	7,48	7,42	7,35	6,48	6,54	6,45
Conductividad eléctrica (µS/cm)	88	87,9	90,4	80,2	78,3	76,6	89,1	86	146,7	87,2	88,1	108,4
Potencial REDOX (mV)	108,7	151,7	87,4	134,2	147,7	178,6	357,3	299,1	380,1	361,9	350,5	354,5
Transparencia Secchi (m)	0,5			0,84			1,81			0,25		
Profundidad máxima (m)	1,35			0,84			2,3			1,1		

Nota: C es abreviatura de “campaña”

- **Resultados de los parámetros medidos en laboratorio**

Tabla 12. Resultados de los parámetros monitoreados en el laboratorio – Estación Cola del Embalse

Campaña	C1			C2			C3			C4		
	0,00	0,20	1,35	0,00	0,70	0,84	0,00	1,04	7,02	0,00	0,43	1,10
Profundidad (m)	0,00	0,20	1,35	0,00	0,70	0,84	0,00	1,04	7,02	0,00	0,43	1,10
Alcalinidad total mg CaCO ₃ /L	37,8	36,2	37,5	41,9	45,9	42,4	41,1	38,9	39,4	43,1	45,8	45
Dureza Total mg CaCO ₃ /L	34,3	33,2	33,9	32,6	33,5	34,4	41,1	39,7	37,4	39,5	36,4	55,1
Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO (5 días) mg O ₂ /L	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Demanda Química de Oxígeno-DQO* mg O ₂ /L	0	0	23,6	11,2	10,4	12,5	16,4	7,8	12,1	51,7	7,23	23,3
Color verdadero UC	16,9	20,4	23,2	19,3	20,8	27,6	< 10,0	< 10,0	< 10,0	93,6	94,3	85,1
Sólidos Suspendidos Totales mg/L	31	11	35	6	11	145	5	5	5	17	21	53
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) mg/L	44	8	12	2	2	23	0	2	3	4	11	11
Sólidos sedimentables mL/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Sólidos Disueltos Totales* mg/L	63	65	66	37	62	58,5	72	69	76	62	55	64
Turbiedad NTU	35	18	40	3,9	10	340	1,8	1,5	1,6	45	45	70
Nitrógeno Kjeldahl mg N/L	0,98	0,53	0,78	1,06	0,73	1,18	0,2	0	0,87	0	0,31	0,08
Nitrógeno Amoniacal mg NH ₃ -N/L	0,09	0,09	0,12	0,09	0,06	0,15	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Aniones (Nitritos) mg NO ₂ /L	< 0,080	0,154	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080
Aniones (Nitratos) mg NO ₃ /L	0,475	0,557	0,435	0,2	0,454	0,396	0,37	0,23	0,34	0,303	0,219	0,202
Fósforo Total mg P/L	0,013	0,048	0,095	0,02	0,04	0,16	0,01	0,038	0,042	0,081	0,098	0,21

Campaña	C1			C2			C3			C4		
	0,00	0,20	1,35	0,00	0,70	0,84	0,00	1,04	7,02	0,00	0,43	1,10
Profundidad (m)	0,00	0,20	1,35	0,00	0,70	0,84	0,00	1,04	7,02	0,00	0,43	1,10
Fósforo Reactivo Total (leído como Ortofosfato) mg/L PO43-	0,01307	0,01928	0,05033	0,00359	0,00098	0,02647	0,00327	0,00654	0,00654	0,0202	0,0042	0,0039
Grasas y Aceites mg/L	< 10,0	< 10,0	< 10,0	19,5	17,4	12,6	14,1	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0
Surfactantes * (SAAM) mg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,40	< 0,40	< 0,40
Fenoles mg/L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	0,29	0,28	0,27	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Pesticidas Organoclorados mg/L	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002
Pesticidas Organofosforados mg/L	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125
Arsénico mg As/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Zinc mg Zn/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100
Cobre mg Cu/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100
Hierro mg Fe/L	< 0,100	0,138	3,618	0,115	0,292	11,217	0,239	0,25	0,18	2,042	0,937	2,344
Manganeso mg Mn/L	< 0,050	0,052	0,147	< 0,050	< 0,050	0,204	2,97	3,17	3,38	0,08	0,081	0,16
Plomo mg Pb/L	< 0,0075	< 0,0075	0,019	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075	0,037	< 0,0075	< 0,0075	0,0076	< 0,0075	< 0,0075
Cianuro total mg CN⁻/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,06	< 0,05	< 0,05	3,33	5,16	5,63
Aniones (Cloruros) mg Cl /L	0,578	0,775	0,601	< 0,200	0,386	0,344	0,28	< 0,200	0,28	7,023	2,785	10,79
Aniones (Sulfatos) SO₄ /L	3,175	3,308	3,191	0,911	1,808	1,879	4,17	2,85	3,81	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Calcio mg Ca/L	7,182	6,92	6,554	6,037	6,096	6,734	6,57	6,95	7,37	0,939	0,454	0,628

Campaña	C1			C2			C3			C4		
	0,00	0,20	1,35	0,00	0,70	0,84	0,00	1,04	7,02	0,00	0,43	1,10
Profundidad (m)	0,00	0,20	1,35	0,00	0,70	0,84	0,00	1,04	7,02	0,00	0,43	1,10
Magnesio mg Mg/L	2,529	3,294	3,525	3,077	3,113	4,131	2,97	3,17	3,38	4,322	1,018	2,714
Sodio mg Na/L	2,519	2,42	3,227	2,265	2,499	2,277	2,28	2,08	2,33	6,026	6,903	6,394
Coliformes totales NMP/100mL	2495	3968	9804	4371	6870	16070	1968	2700	4640	14136	72700	14136
<i>Escherichia coli</i> NMP/100mL	624	771	1112	1390	374	1732	359	199	410	1835	1169	1169
Clorofila-a mg/m ³	88,5	54,5	129	116,2	53,1	44,7	4,07	3,63	4,92	9,32	10,3	3,88
Ficocianina µg/mL	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos mg /L	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125
Microcistina LR mg LR/L	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Microcistina YR mg YR/L	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Microcistina RR mg RR/L	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Silicio mg Si/L	4,2	4,28	4,6	4,279	5,627	13,088	8,86	8,05	<0,375	3,719	3,986	3,869
Hierro disuelto mg Fe/L	<0,050	<0,050	<0,050	0,126	0,327	6,931	0,29	0,29	0,3	2,579	2,374	2,505

Nota: C es abreviatura de "campaña"

3.3.1.2. Estación – Salida PTAR

- Resultados de los parámetros medidos In Situ

Tabla 13. Resultados de los parámetros monitoreados In Situ – Estación Salida PTAR

Campaña	C1			C2			C3			C4		
Profundidad (m)	0,00	0,41	1,72	0,00	0,55	1,06	0,00	0,53	1,92	0,00	0,66	1,10
Temperatura (°C)	26,5	26,8	23,6	27,9	25,2	22,7	25,2	25	24,8	25,1	25,8	25,4
pH	7,58	7,66	7,24	7,24	7,21	6,92	7,14	7,13	7,2	7,68	7,17	7,34
Oxígeno Disuelto (mg O ₂ /L)	7,18	7,36	6,54	7,47	6,93	6,94	6,34	6,29	4,03	7,21	7,15	7,13
Conductividad eléctrica (µS/cm)	84,4	85,3	94,8	79,1	82,3	97,2	90,2	95,7	85,2	81,3	97,2	96,3
Potencial REDOX (mV)	235,2	299,7	167,8	119,7	137,8	95,3	339,7	208,8	191	333,3	305,2	298,9
Transparencia Secchi (m)	1,03			0,76			1,32			0,39		
Profundidad máxima (m)	1,72			1,06			1,92			1,1		

- **Resultados de los parámetros medidos en laboratorio**

Tabla 14. Resultados de los parámetros monitoreados en el laboratorio – Estación Salida PTAR

Campaña	C1			C2			C3			C4		
Profundidad (m)	0,00	0,41	1,72	0,00	0,55	1,06	0,00	1,04	7,02	0,00	0,43	1,10
Alcalinidad total mg CaCO ₃ /L	41	34,3	37,2	63,9	37,1	38,9	40,7	36,9	39,4	43,5	40,2	40,2
Dureza Total mg CaCO ₃ /L	32,1	32,5	32,4	34,4	34,5	33,7	39,8	35,6	38,6	41,4	34	44,9
Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO (5 días) mg O ₂ /L	0	0	0	5	1,25	0	8	10	8	5	5	5
Demanda Química de Oxígeno-DQO* mg O ₂ /L	0	0	0	10,9	1,251	1,869	13	13,3	17,7	10,3	16,6	24,8
Color verdadero UC	16,1	15,5	21,1	12,7	13,4	16,9	27,9	22,7	26,6	21,2	16,8	23,6

Campaña	C1			C2			C3			C4		
Profundidad (m)	0,00	0,41	1,72	0,00	0,55	1,06	0,00	1,04	7,02	0,00	0,43	1,10
Sólidos Suspendidos Totales mg/L	8	4	193	5	12	10	6	24	63,5	1	4	9
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) mg/L	8	4	40	1	3	4	5	7	17	0	2	3
Sólidos Sedimentables mL/L	< 0,5	< 0,5	1,3	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Sólidos Disueltos Totales* mg/L	60	56	68	54	49	52	63	51	63,5	62	52	41
Turbiedad NTU	7,4	13	160	24	20	11	6	11	36	6,9	8,7	19
Nitrógeno Kjeldahl mg N/L	0,2	0,48	0,67	1,57	0,17	0,34	1,2	0,07	0	0,2	0,22	0,42
Nitrógeno Amoniacal mg NH ₃ -N/L	0,05	0,04	0,11	0,06	0,07	0,25	0,21	< 0,20	0,5	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Aniones (Nitritos) mg NO ₂ /L	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080
Aniones (Nitratos) mg NO ₃ /L	0,314	0,912	0,579	0,309	0,64	0,445	0,11	0,1	0,108	0,175	0,195	0,187
Fósforo Total mg P/L	0,008	0,013	0,011	0,017	0,02	0,026	0,06	0,037	0,132	0,036	0,05	0,061
Fósforo Reactivo Total (leído como Ortofosfato) mg/L PO ₄ ³⁻	0,021 24	0,021 24	0,021 24	0	0,021 24	0,003 27	0,001 08	0,001 08	0,001 08	0,001	0,001	0,001
Grasas y Aceites mg/L	< 10,0	< 10,0	< 10,0	16,3	15,8	19,3	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0
Surfactantes * (SAAM) mg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,40	< 0,40	< 0,40
Fenoles mg/L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	0,27	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Pesticidas Organoclorados mg/L	< 0,000 02	< 0,00 002	< 0,00 002	< 0,00 002	< 0,00 02	< 0,00 02	< 0,00 02					

Campaña	C1			C2			C3			C4		
Profundidad (m)	0,00	0,41	1,72	0,00	0,55	1,06	0,00	1,04	7,02	0,00	0,43	1,10
Pesticidas Organofosforados mg/L	< 0,001 25	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125					
Arsénico mg As/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	<0,01 0	<0,01 0	<0,01 0
Zinc mg Zn/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	0,213	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100
Cobre mg Cu/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	<0,10 0	<0,10 0	<0,10 0
Hierro mg Fe/L	0,323	< 0,100	< 0,100	0,198	0,244	0,479	<0,10 0	0,312	2,07	0,36	0,601	0,362
Manganeso mg Mn/L	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	2,919	3,386	3,927	<0,05 0	<0,05 0	<0,05 0
Plomo mg Pb/L	< 0,007 5	0,04	<0,00 75	0,013	0,013	<0,00 75	<0,00 75	<0,00 75				
Cianuro total mg CN ⁻ /L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	3,4	3,72	3,56
Aniones (Cloruros) mg Cl/L	0,553	2,554	1,139	3,239	0,944	0,718	0,658	0,686	0,758	1,537	1,515	1,404
Aniones (Sulfatos) SO ₄ /L	2,893	4,362	3,994	2,466	2,744	2,766	3,103	3,255	2,78	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Calcio mg Ca/L	5,692	5,476	5,647	5,98	5,952	7,101	6,41	5,81	6,25	0,339	0,332	0,28
Magnesio mg Mg/L	2,972	2,819	2,886	3,069	3,049	3,4	2,919	3,386	3,927	1,242	0,986	0,679
Sodio mg Na/L	2,211	2,091	2,255	2,232	2,273	2,88	2,47	2,41	2,8	5,538	5,725	5,669
Coliformes totales NMP/100mL	1968	4721	5475 00	5475	2419 6	4106 0	9139	62940	17329	1935	3448	4352
<i>Escherichia coli</i> NMP/100mL	556	1565	2613 00	285	4884	1073 0	3784	3578	771	145	152	74
Clorofila-a mg/m ³	126	75,5	84,4	101,4	154,2	44,3	101,7 7	103,8 1	119,3 6	11,8	9,32	11,4
Ficocianina µg/mL	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos mg/L	< 0,001 25	< 0,001 25	0,007 54	< 0,001 25	< 0,001 25	< 0,001 25	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125

Campaña	C1			C2			C3			C4		
Profundidad (m)	0,00	0,41	1,72	0,00	0,55	1,06	0,00	1,04	7,02	0,00	0,43	1,10
Microcistina LR mg LR/L	< 0,000 1	< 0,000 1	< 0,000 1	0,000 18	< 0,000 1	< 0,000 1	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01
Microcistina YR mg YR/L	< 0,000 1	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01					
Microcistina RR mg RR/L	< 0,000 1	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01					
Silicio mg Si/L	3,093	19,48 3	3,921	5,02	6,911	4,707	3,729	4,061	6,024	3,229	3,357	3,507
Hierro disuelto mg Fe/L	<0,0 50	<0,05 0	<0,05 0	0,274	0,48	0,527	0,06	<0,05 0	0,06	2,221	2,154	2,146

3.3.1.3. Estación de monitoreo – Entradas 4 y 5

- Resultados de los parámetros medidos In Situ

Tabla 15. Resultados de los parámetros monitoreados In Situ – Estación Entradas 4 y 5

Campaña	C1			C2			C3			C4		
Profundidad (m)	0,00	0,37	1,00	0,00	0,74	1,00	0,00	0,50	1,26	0,00	1,60	2,00
Temperatura (°C)	24,8	24,4	23,8	25,6	25,9	25,9	25,8	25,8	26	25,2	25,1	25,4
pH	7,55	7,69	7,7	9,03	9,17	9,1	6,64	7,26	7,16	7,5	7,99	7,81
Oxígeno Disuelto (mg O ₂ /L)	7,56	7,5	7,48	7,44	7,4	7,38	7,19	7	6,98	7,49	7,37	7,49
Conductividad eléctrica (µS/cm)	88,5	89	209	75	76,1	76,9	86,5	88,9	88	83,4	91,7	91,2
Potencial REDOX (mV)	83,5	112,4	126,8	161,5	163,3	185,2	262,8	277,3	299	316,2	291,7	297
Transparencia Secchi (m)	0,7			0,85			1,26			1,12		
Profundidad máxima (m)	0,9			1			1,6			2		

- Resultados de los parámetros medidos en laboratorio

Tabla 16. Resultados de los parámetros monitoreados en el laboratorio – Estación Entradas 4 y 5

Campaña	C1			C2			C3			C4		
Profundidad (m)	0	0,37	0,9	0	0,74	1	0	1,04	7,02	0	0,43	1,1
Alcalinidad total mg CaCO ₃ /L	36,6	34	33,5	47,9	47	39,2	38,9	39,4	39,9	40,2	42,8	40,9
Dureza Total mg CaCO ₃ /L	35,4	34,1	33,6	33,1	33,7	34,3	39,5	42,4	45,2	40,6	39,5	42,6
Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO (5 días) mg O ₂ /L	1	0	0	0	0	0	0	4	2	5	5	5
Demanda Química de Oxígeno-DQO* mg O ₂ /L	22,8	17,9	< 2,0 mg	2	10,3	5,78	2	12,6	9	11,5	16,2	20
Color verdadero UC	27,1	25,8	27,2	13,6	13,6	18,1	22,5	23,1	21,7	16,3	17,6	11,6
Sólidos Suspendidos Totales mg/L	20	19	22	2	5	12	12	9	5	5	4	4
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) mg/L	15	16	18	1	4	8	3	8	4	4	2	1
Sólidos Sedimentables mL/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Sólidos Disueltos Totales*mg/L	56	58	52	53	50	25	64	59	< 30,0	46	53	51
Turbiedad NTU	16	12	15	3,8	4	3,4	2,4	3,1	4,7	5,9	6,7	6,3
Nitrógeno Kjeldahl mg N/L	0,22	0,76	0,35	0,08	0,5	0,56	0,11	0,05	0,08	0,2	0,2	0,22
Nitrógeno Amoniacal mg NH ₃ -N/L	0,02	0,06	0,05	0,08	0,08	0,05	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Aniones (Nitritos) mg NO ₂ /L	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	<0,080	<0,080	<0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080

Campaña	C1			C2			C3			C4		
	0	0,37	0,9	0	0,74	1	0	1,04	7,02	0	0,43	1,1
Profundidad (m)	0	0,37	0,9	0	0,74	1	0	1,04	7,02	0	0,43	1,1
Aniones (Nitratos) mg NO ₃ /L	0,326	0,61	0,229	0,44	0,15	0,19	0,09	0,12	0,09	0,189	0,322	0,281
Fósforo Total mg P/L	0	0,032	0,03	0,01	0,02	0,04	0,038	0,033	0,055	0,009	0,03	0,028
Fósforo Reactivo Total (leído como Ortofosfato) mg/L PO ₄ ³⁻	0	0,003 27	0,003 27	0	0	0	0,003 27	0,003 27	0,003 27	0	0	0
Grasas y Aceites mg/L	< 10,0	< 10,0	< 10,0	16,8	18,4	18,4	< 10,0	< 10,0	< 10,0	<10,0	<10,0	<10,0
Surfactantes * (SAAM) mg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	<0,40	<0,40	<0,40
Fenoles mg/L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Pesticidas Organoclorados mg/L	< 0,000 02	<0,00 002	<0,00 002	<0,00 002	<0,00 02	<0,00 02	<0,00 02					
Pesticidas Organofosforados mg/L	< 0,001 25	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125					
Arsénico mg As/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	<0,01 0	<0,01 0	<0,01 0
Zinc mg Zn/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100
Cobre mg Cu/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	<0,10 0	<0,10 0	<0,10 0
Hierro mg Fe/L	1,011	0,404	0,21	0,125	0,224	0,155	0,59	0,11	0,17	0,27	0,453	0,382
Manganeso mg Mn/L	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	3,32	3,25	3,42	<0,05 0	<0,05 0	<0,05 0
Plomo mg Pb/L	< 0,007 5	0,04	0,06	0,05	<0,00 75	<0,00 75	<0,00 75					
Cianuro total mg CN-/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,06	< 0,05	< 0,05	3,64	3,4	3,71
Aniones (Cloruros) mg Cl/L	0,491	0,809	0,757	0,343	0,488	< 0,200	0,23	0,69	0,33	1,07	1,849	1,61
Aniones (Sulfatos) mg SO ₄ /L	1,982 mg	3,584	3,119	1,616	1,495	0,563	1,71	3,53	1,75	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Calcio mg Ca/L	6,238	6,246	6,517	6,038	6,464	6,132	6,77	6,61	5,64	0,48	0,498	1

Campaña	C1			C2			C3			C4		
	0	0,37	0,9	0	0,74	1	0	1,04	7,02	0	0,43	1,1
Profundidad (m)												
Magnesio mg Mg/L	3,172	3,024	3,077	3,051	3,245	3,107	3,32	3,25	3,42	1,275	1,262	3,88
Sodio mg Na/L	2.295	2,254	2,343	2,318	2,151	2,193	2,45	2,33	2,4	5,499	5,864	6,03
Coliformes totales NMP/100mL	2012	3044	1918	1162	2613 0	637	4106	2850	2140	2143	5475	8664
<i>Escherichia coli</i> NMP/100mL	20	20	20	41	750	52	20	31	41	31	20	31
Clorofila-a mg/m ³	86,6	88,1	119	58	114,6	51,9	74,11	79,01	74,43	12,2	10,9	11,2
Ficocianina µg/mL	< 4,0 µg	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos mg /L	< 0,001 25	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125					
Microcistina LR mg LR/L	< 0,000 1	0,000 43	< 0,000 1	< 0,000 1	< 0,000 1	0,000 13	< 0,000 1	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01
Microcistina YR mg YR/L	< 0,000 1	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01					
Microcistina RR mg RR/L	< 0,000 1	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01					
Silicio mg Si/L	3,37	3,56	4,36	5,724	4,668	4,772	4,08	3,92	3,996	3,476	3,57	3,465
Hierro disuelto mg Fe/L	<0,0 5	<0,05 0	<0,05 0	0,284	0,243	0,205	0,19	0,21	0,18	2,144	2,279	2,331

3.3.1.4. Estación de monitoreo – Puerto Buga

- Resultados de los parámetros medidos In Situ

Tabla 17. Resultados de los parámetros monitoreados In Situ – Estación Puerto Buga

Campaña	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	pH	Ox. Disuelto (mg O ₂ /L)	Conductividad eléc. (µS/cm)	Potencial REDOX (mV)	Transparencia Secchi (m)	Profundidad máxima (m)
C1	0,00	24,1	6,91	6,97	84,8	189	2,5	9,73
	1,10	23,8	7,46	7,29	86,7	249		
	2,73	24	7,43	7,3	85,9	256,5		
	3,73	24	7,68	7,34	86,4	257,5		
	4,73	23,6	8,05	7,31	85,7	240		
	5,73	23,6	7,96	7,34	86,2	237,6		
	6,73	23,7	7,87	7,29	85,9	227,6		
	7,73	23,5	7,82	7,27	85,7	186,1		
	8,73	23,5	7,77	7,26	85,9	191,7		
	9,73	23,3	7,83	6,65	86,3	192,8		
C2	0,00	24,4	8,56	7,98	74,5	210,9	0,12	16,9
	0,74	24,2	8,58	7,85	75,2	239,9		
	5,00	23,4	8,5	7,94	75,5	246,7		
	6,60	23,1	8,43	7,92	75,4	243,8		
	8,30	23,1	8,32	7,68	75,3	250,3		
	9,95	23,1	7,93	7,53	74,9	256,6		
	11,60	23	8,1	7,47	74,9	253,7		
	13,3	22,9	7,35	7,44	74,6	251,3		
	15,00	22,6	7,67	7,1	74,6	252,7		
	16,90	22,9	7,18	5,28	75,2	211,3		
C3	0,00	24,3	6,18	6,66	84,2	121	2,77	15,6
	1,26	24,1	6,87	6,68	86,7	265		
	8,51	24	6,44	6,45	62,9	177,8		
	9,52	24	6,82	6,42	85,1	268		
	10,53	24	6,86	6,37	84,9	282,7		
	11,54	24	6,84	6,34	87,2	270,1		
	12,55	23,9	6,85	6,24	85,1	260,1		
	13,56	23,9	6,76	6,04	90,5	268,4		
	14,57	23,9	6,73	5,56	90,5	261,8		
	15,6	23,9	6,37	0,13	94,4	42,3		
C4	0,00	22,4	6,53	6,97	87,9	326,9	1,79	16,59
	3,04	24,7	7,44	6,99	116,4	324,4		
	4,73	25,2	7,88	7,03	80,8	310		
	6,42	25,2	7,58	6,32	111,2	320,8		
	8,83	25,2	7,53	6,11	108,3	310,9		
	9,80	25,3	7,46	5,8	81	315,4		
	11,49	25,5	7,11	5,98	137,3	305,6		
	13,18	25,4	6,89	5,16	80,9	322,4		
	14,87	25,4	6,86	3,94	104,3	299,4		
16,59	25,1	6,52	0,25	78,7	252			

- Resultados de los parámetros medidos en el laboratorio

Tabla 18. Resultados de los parámetros monitoreados en el laboratorio – Estación Puerto Buga

Campaña	C1			C2			C3			C4		
	0	1	6,73	0	0,74	5	0	1,04	7,02	0	0,43	1,1
Profundidad (m)	0	1	6,73	0	0,74	5	0	1,04	7,02	0	0,43	1,1
Alcalinidad total mg CaCO ₃ /L	33,1	36	41,8	80,9	40	36,2	36,6	36,1	< 30,0	40,1	38,1	31,1
Dureza Total mg CaCO ₃ /L	34	34	33,4	36,4	32	31,2	46,3	36,6	38,8	38,9	38	50,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO (5 días) mg O ₂ /L	1	1	3	0	3	1	2	2	36	1	3	15
Demanda Química de Oxígeno-DQO* mg O ₂ /L	15,6	10,7	16,2	8,51	4,4	2,88	8,7	7,8	7,2	14,7	16,9	70,4
Color verdadero UC	17,2	29,6	18,8	< 10,0	< 10,0	22,8	16,6	< 10,0	> 100	< 10,0	< 10,0	180
Sólidos Suspendidos Totales mg/L	3	11	16	5	7	96	5	7	> 450	1	0	1431
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) mg/L	3	8	6	4	5	16	2	2	1312	0	0	178
Sólidos Sedimentables mL/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,7	< 0,5	< 0,5	< 0,5	60	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Sólidos Disueltos Totales* mg/L	63	49	58	10	34	11	53	60	128	44	46	31,5
Turbiedad NTU	18	11	12	2,8	2,7	100	1,4	1,6	> 1000	4,3	5,3	>1000
Nitrógeno Kjeldahl mg N/L	0,35	0,14	0,31	2,63	3	2,41	0,14	0,03	0,08	0,2	0,2	22,81
Nitrógeno Amoniacal mg NH ₃ -N/L	0,02	0,05	0,03	0,18	0,33	0,09	< 0,20	< 0,20	0,43	< 0,20	< 0,20	0,3
Aniones (Nitritos) mg NO ₂ /L	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	<0,080	<0,080	<0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080

Campaña	C1			C2			C3			C4		
	0	1	6,73	0	0,74	5	0	1,04	7,02	0	0,43	1,1
Profundidad (m)	0	1	6,73	0	0,74	5	0	1,04	7,02	0	0,43	1,1
Aniones (Nitratos) mg NO₃ /L	0,548	0,381	0,372	0,237	0,14	0,301	0,13	0,22	0,14	0,173	0,223	0,254
Fósforo Total mg P/L	0,007	0,036	0,008	0,02	0,04	0,1	0,043	0,045	0,132	0,395	0,058	0,955
Fósforo Reactivo Total (leído como Ortofosfato) mg PO₄³⁻	0	0,00327	0	0	0	0,00327	0	0	0,02614	0	0	0,0202
Grasas y Aceites mg/L	< 10,0	< 10,0	< 10,0	14,5	14,9	16,9	< 10,0	< 10,0	< 10,0	<10,0	<10,0	<10,0
Surfactantes * (SAAM) mg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	<0,40	<0,40	<0,40
Fenoles mg/L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	0,21	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Pesticidas Organoclorados mg/L	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002
Pesticidas Organofosforados mg/L	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	<0,00125	<0,00125	<0,00125	<0,00125	<0,00125	<0,00125
Arsénico mg As/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Zinc mg Zn/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Cobre mg Cu/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,010	< 0,010	< 0,010	<0,100	<0,100	<0,100
Hierro mg Fe/L	< 0,100	0,21	0,143	0,114	< 0,100	4,925	<0,100	<0,100	9,71	0,033	< 0,100	18,696
Manganeso mg Mn/L	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	<0,050	<0,050	1,45	<0,050	<0,050	1,145
Plomo mg Pb/L	< 0,0075	0,012	0,013	0,016	0,014	0,016	0,05	0,03	0,06	<0,0075	<0,0075	0,018
Cianuro total mg CN-/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,34	3,36	3,38	6,97
Aniones (Cloruros) mg Cl /L	0,617	0,522	0,526	0,232	0,991	0,322	0,65	0,57	0,74	0,492	0,24	62,462

Campaña	C1			C2			C3			C4		
Profundidad (m)	0	1	6,73	0	0,74	5	0	1,04	7,02	0	0,43	1,1
Aniones (Sulfatos) SO ₄ /L	3,542	2,617	3,027	1,421	1,548	1,744	3,54	3,44	3,51	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Calcio mg Ca/L	6,417	5,95	6,117	4,945	5,763	5,905	5,54	6,25	6,21	1,042	0,552	0,654
Magnesio mg Mg/L	2,869	2,817	2,929	2,469	2,921	3,069	2,51	2,79	2,39	4,216	1,422	2,53
Sodio mg Na/L	2,194	2,169	2,48	1,739	2,202	2,165	2,14	2,39	2,31	5,396	5,314	5,375
Coliformes totales NMP/100mL	285	318	571	395	63	213	1430	990	529	884	1956	6867
<i>Escherichia coli</i> NMP/100mL	10	10	41	<1	< 1	52	637	10	10	10	20	10
Clorofila-a mg/m ³	76,8	147	36,3	59,9	105,5	38,7	98,98	85,25	30,01	7,82	7,16	13
Ficocianina µg/mL	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos mg /L	< 0,001 25	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125					
Microcistina LR mg LR/L	< 0,000 1	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	0,000 6					
Microcistina YR mg YR/L	< 0,000 1	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01					
Microcistina RR mg RR/L	< 0,000 1	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01					
Silicio mg Si/L	2,55	<0,37 5	3,26	3,556	3,895	10,43 1	3,973	3,37	7,53	3,137	3,242	3,356
Hierro disuelto mg/L	<0,0 50	<0,05 0	<0,05 0	0,289	0,15	4,994	< 0,05	< 0,05	0,34	2,05	2,068	2,105

3.3.1.5. Estación de monitoreo – Centro del Embalse

- Resultados de los parámetros medidos In Situ

Tabla 19. Resultados de los parámetros monitoreados In Situ – Estación Centro del Embalse

Campaña	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	pH	Ox. Disuelto (mg O ₂ /L)	Conductividad eléc. (µS/cm)	Potencial REDOX (mV)	Transparencia Secchi (m)	Profundidad máxima (m)
C1	0,00	23	7,66	7,28	143	297,4	1,85	16,6
	0,74	22,4	7,66	7,3	111,1	174		
	5,00	22,6	7,19	7,12	100	104,7		
	6,67	23,1	7,35	7,1	97	101,6		
	8,3	22,8	7,97	7,22	118,7	118,8		
	9,95	22,7	7,08	7,07	51,4	137,1		
	11,60	22,9	7,87	7,1	87,1	178,1		
	13,30	22,8	7,68	7,13	98,8	157,9		
	15,00	22,8	7,82	6,6	87,2	168		
16,60	22,6	7,22	6,21	112,2	117,4			
C2	0,00	23,8	7,81	7,49	74,6	264,4	0,86	12,8
	0,34	24	7,84	7,53	75,1	265,1		
	2,32	23,8	7,56	7,53	75,3	268,9		
	3,80	23,5	7,7	7,64	74,8	266,2		
	5,30	23,5	7,51	7,6	75	266,4		
	6,80	23,1	7,46	7,57	74,8	268,2		
	8,30	23,2	7,41	7,58	74,6	269,2		
	9,80	23,2	7,34	7,48	75	272,4		
	11,30	23,3	7,48	7,28	74,8	272,3		
12,80	23,3	7,3	6,9	75,1	272,9			
C3	0,00	24,5	7,13	6,8	86,2	257	2,8	14,45
	1,06	24,4	6,94	6,66	87,4	225,6		
	7,13	24	6,9	6,5	84,9	218,3		
	8,15	23,9	6,87	6,45	88,4	237,6		
	9,20	23,9	6,88	6,34	87,8	247,8		
	10,25	23,9	6,88	6,28	84,8	211,3		
	11,30	23,9	6,58	6,17	84,4	186,9		
	12,35	23,8	6,85	6,09	93,4	194,6		
	13,40	23,7	7,23	5,21	83,2	200		
14,45	23,7	7,21	1,06	84,6	250,8			
C4	0,00	24,4	7,33	6,76	99,6	328,5	1,49	11,96
	3,02	25,2	7,61	6,75	162,2	318,2		
	4,13	23,8	7,22	6,65	80,4	311,2		
	5,25	24,1	7,78	6,57	93,4	311,8		
	6,37	24	7,76	6,43	80,5	320,3		
	7,49	24,1	7,65	6,44	90,6	325,9		
	8,60	24,1	7,73	6,41	80,7	330,2		
9,78	24,1	7,69	6,34	129,6	312,2			

Campaña	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	pH	Ox. Disuelto (mg O ₂ /L)	Conductividad eléc. (µS/cm)	Potencial REDOX (mV)	Transparencia Secchi (m)	Profundidad máxima (m)
	10.84	24,1	7,66	6,33	80,4	308,7		
	11.96	24,4	7,34	6,46	80,9	302,6		

- **Resultado de los parámetros medidos en el laboratorio**

Tabla 20. Resultados de los parámetros monitoreados en laboratorio – Estación Centro del Embalse

Campaña	C1			C2			C3			C4		
Profundidad (m)	0	0,74	5	0	0,34	2,32	0	1,04	7,02	0	0,43	1,1
Alcalinidad total mg CaCO ₃ /L	37,1	36,1	36,3	48,1	35,8	38,9	36,4	36,2	35,7	40,6	39	38,3
Dureza Total mg CaCO ₃ /L	33,2	34,3	34,8	33,2	33,1	31,6	36,8	38,3	38,5	42,3	45,6	40,9
Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO (5 días) mg O ₂ /L	4	0	6	2	2	1	2	2	11	1	1	5
Demanda Química de Oxígeno-DQO* mg O ₂ /L	12,6	0	12,1	2	2	18,8	6	6,08	12,5	14,6	19,2	27,8
Color verdadero UC	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	31,4	14,8	< 10,0	10,9	15,8	< 10,0	16,5
Sólidos Suspendidos Totales mg/L	0	3	16	14	7	178	7	3	129	10	4	27
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) mg/L	0	3	5	4	5	31,5	4	3	23	9	2	12
Sólidos Sedimentables mL/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Sólidos Disueltos Totales* mg/L	44	59	55	11	27	58	54	55	69	48	52	43
Turbiedad NTU	1,3	1,9	14	5,8	3,8	150	4,6	2	95	3,6	4,4	22

Campaña	C1			C2			C3			C4		
Profundidad (m)	0	0,74	5	0	0,34	2,32	0	1,04	7,02	0	0,43	1,1
Nitrógeno Kjeldahl mg N/L	1,29	1,12	1,04	2,72	3,75	0,28	0	1,19	0,12	0,24	0,27	2,02
Nitrógeno Amoniacal mg NH ₃ - N/L	0,02	0,01	0,23	0,02	0,06	0,09	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Aniones (Nitritos) mg NO ₂ /L	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	<0,080	<0,080	<0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080
Aniones (Nitratos) mg NO ₃ /L	0,41	0,942	0,77	0,22	0,23	0,14	0,12	0,1	0,16	0,244	0,266	2,022
Fósforo Total mg P/L	0	0,034	0,043	0,025	0,01	0,011	0,039	0,068	0,06	0,63	0,03	0,06
Fósforo Reactivo Total (leído como Ortofosfato) mg PO ₄ -	0	0	0	0	0	0	0	0,00654	0,00327	0	0	0
Grasas y Aceites mg/L	< 10,0	< 10,0	< 10,0	15,6	16	16,5	< 0,4	< 0,4	< 0,4	<10,0	<10,0	<10,0
Surfactantes * (SAAM) mg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,20	< 0,20	< 0,20	<0,40	<0,40	<0,40
Fenoles mg/L	0,3	< 0,20	< 0,20	< 0,20	0,25	< 0,20	<0,20	<0,20	<0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Pesticidas Organoclorados mg/L	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002
Pesticidas Organofosforados mg /L	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	<0,00125	<0,00125	<0,00125	<0,00125	<0,00125	<0,00125
Arsénico mg As/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Zinc mg Zn/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Cobre mg Cu/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,010	< 0,010	< 0,010	<0,100	<0,100	<0,100
Hierro mg Fe/L	< 0,100	< 0,100	1,701	< 0,100	0,293	< 0,100	<0,100	<0,100	1,153	< 0,100	< 0,10	1,045

Campaña	C1			C2			C3			C4		
	0	0,74	5	0	0,34	2,32	0	1,04	7,02	0	0,43	1,1
Profundidad (m)	0	0,74	5	0	0,34	2,32	0	1,04	7,02	0	0,43	1,1
Manganeso mg Mn/L	< 0,050	< 0,050	0,09	< 0,050	< 0,050	0,139	<0,050	<0,050	0,17	< 0,050	<0,050	0,168
Plomo mg Pb/L	< 0,0075	0,013	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075	0,041	0,04	0,026	<0,0075	<0,0075	<0,0075
Cianuro total mg CN ⁻ /L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,59	< 0,05	< 0,05	< 0,05	3,49	3,55	3,97
Aniones (Cloruros) mg Cl /L	0,631	0,71	1,548	0,67	0,884	0,319	0,68	0,59	0,98	0,839	0,285	4,271
Aniones (Sulfatos) SO ₄ /L	3,267	3,643	3,284	2,752	2,362	0,893	3,54	3,48	3,5	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Calcio mg Ca/L	7,333	6,088	6,544	5,773	5,856	6,461	6,35	6,18	6,51	0,544	0,728	0,985
Magnesio mg Mg/L	3,244	2,261	2,481	2,919	2,976	3,048	2,83	2,89	2,96	1,486	1,797	3,035
Sodio mg Na/L	2,351	2,261	2,481	2,092	2,173	1,997	2,13	2,77	2,49	5,446	5,803	5,69
Coliformes totales NMP/100mL	167	546	1234	41	109	31	379	1732,9	97	1046,2	249,6	426
<i>Escherichia coli</i> NMP/100mL	< 1	10	10	< 1	< 1	< 1	20	7,2	10	2	10,9	10
Clorofila-a mg/m ³	26,6	36	93,3	70,7	198,8	4,6	72,89	105,1	71,52	10,9	7,59	11,3
Ficocianina µg/mL	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos mg /L	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	<0,00125	<0,00125	<0,00125	<0,00125	<0,00125	<0,00125
Microcistina LR mg LR/L	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0007
Microcistina YR mg YR/L	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Microcistina RR mg RR/L	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Campaña	C1			C2			C3			C4		
Profundidad (m)	0	0,74	5	0	0,34	2,32	0	1,04	7,02	0	0,43	1,1
Silicio mg Si/L	3,5	3,5	3,17	3,58	4,061	<0,37 5	3,72	3,78	4,49	3,322	3,343	3,475
Hierro disuelto mg Fe/L	<0,0 50	<0,05 0	<0,05 0	0,206	0,377	2,105	<0,05 0	<0,05 0	0,94	2,061	2,113	2,132

3.3.1.6. Estación – Cabeza del embalse (Presa)

- Resultados de los parámetros medidos In Situ

Tabla 21. Resultados de los parámetros monitoreados In Situ – Estación Cabeza del Embalse

Campaña	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	pH	Ox. Disuelto (mg O ₂ /L)	Conductividad eléc. (µS/cm)	Potencial REDOX (mV)	Transparencia Secchi (m)	Profundidad máxima (m)
C1	0,00	22,6	7,52	7,06	86,6	148,2	4,08	54,5
	1,63	22,3	7,84	7,14	99,6	178		
	11,00	22,4	7,92	7,05	88,5	145,9		
	17,20	22	7,73	7,06	87,3	191		
	23,40	22,3	7,85	7,03	87,3	189		
	29,60	22	7,63	6,72	87,9	126,9		
	35,80	21,8	6,89	5,83	86,7	181,3		
	42,00	21,8	6,75	5,69	86,1	178		
	48,20	22	6,64	5,23	88,2	161,9		
54,50	21,6	7,11	5,28	92,3	118,2			
C2	0,00	22,6	7,91	7,23	75,2	258,6	2,6	66,64
	1,04	22,4	7,72	7,42	75,7	433,1		
	7,02	22,6	7,88	7,36	74,5	336,4		
	14,00	22,4	7,24	7,14	74	368,5		
	22,50	22,2	7,12	4,64	73,5	378,6		
	34,50	22,2	7,08	4,67	73,8	384		
	42,50	22,1	7,21	4,8	74,2	407,7		
	50,00	21,8	6,97	5,11	74,8	419,5		
	58,5	21,9	7,43	5,09	75,9	440,1		
66,64	21,9	7,34	5,44	77,4	247,6			
C3	0,00	23,8	7,13	7,15	85,6	341,7	3,4	67,53
	1,36	23,4	7,16	7,28	77,6	220,6		
	9,18	22,9	7,03	6,94	79,6	259,7		
	17,49	23,1	7,18	7,2	77,3	221,9		
	25,83	23	7,18	6,84	76,9	260		
	34,17	22,9	7,2	6,74	77,6	279,3		
	42,51	22,9	7,06	5,03	78	362,2		
	50,85	22,5	7,22	4,46	78,3	327,9		

Campaña	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	pH	Ox. Disuelto (mg O ₂ /L)	Conductividad ad. eléc. (µS/cm)	Potencial REDOX (mV)	Transparencia Secchi (m)	Profundidad máxima (m)
	59,19	22	7,34	3,62	78,8	283,3		
	67,53	22,4	6,98	1,58	97,1	286		
C4	0,00	23,4	7,39	7,23	85	327,4	2,39	53,68
	3,9	25	7,8	7,19	83,4	354,1		
	10,1	24,8	7,9	7,3	81,5	286,8		
	16,34	24,3	7,7	7,11	84	258,2		
	22,5	24,3	7,74	6,97	81,9	380,2		
	28,70	24,4	7,58	6,51	81,7	367,1		
	35,00	24,4	7,54	5,39	82,6	377,3		
	41,20	24,3	7,5	4,8	82,1	382,2		
	47,40	24,5	7,64	4,14	83	374		
	53,68	23	7,38	3,95	100,1	353		

- Resultados de los parámetros medidos en el laboratorio

Tabla 22. Resultados de los parámetros monitoreados en laboratorio – Estación Cabeza del Embalse

Campaña	C1			C2			C3			C4		
Profundidad (m)	0,00	1,63	11,0	0,00	1,04	7,02	0,00	1,04	7,02	0,00	0,43	1,10
Alcalinidad total mg CaCO ₃ /L	34,8	33,4	32,7	52	43,8	43,2	45,8	36,9	37,5	39,6	39	38,9
Dureza Total mg CaCO ₃ /L	30,8	33,6	33,8	33,1	34,7	35,9	36,7	32,6	58,7	45,1	45,2	48,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO (5 días) mg O ₂ /L	6	4	6	0	1	0	5	5	16	1	1	5
Demanda Química de Oxígeno-DQO* mg O ₂ /L	7,45	14,6	146	0	83,2	2	7,47	7,53	79,1	20,9	11,5	30,8
Color verdadero UC	< 10,0	10,6	14,5	10,7	< 10,0	10,5	< 10,0	< 10,0	60,2	< 10,0	10,9	65
Sólidos Suspendidos Totales mg/L	0	1	>450	3	6	23	4	1	> 450	0	6	200

Campana	C1			C2			C3			C4		
	0,00	1,63	11,0	0,00	1,04	7,02	0,00	1,04	7,02	0,00	0,43	1,10
Profundidad (m)	0	1	117	3	4	9	2	3	86,7	0	1	32
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) mg/L	< 0,5	< 0,5	0,7	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	3	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Sólidos Sedimentables mL/L	42	56	46	6	56	39	72	69	81,7	42	50	35
Turbiedad NTU	0,9	1,5	750	1,2	1,2	16	1,2	3,5	750	2,9	3,5	200
Nitrógeno Kjeldahl mg N/L	1,82	0,92	1,01	0,28	11,43	0,11	0,2	0,2	0,2	0,26	0,27	0,32
Nitrógeno Amoniacal mg NH ₃ -N/L	0,02	0,09	0,05	0,05	2,13	0,08	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Aniones (Nitritos) mg NO ₂ /L	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080
Aniones (Nitratos) mg NO ₃ /L	1,154	0,68	0,827	0,204	0,629	0,553	0,197	0,13	0,434	0,263	0,274	0,327
Fósforo Total mg P/L	0,02	0,02	0,06	0,02	0,03	0,07	0,235	0,043	0,247	0	0,02	0,231
Fósforo Reactivo Total (leído como Ortofosfato) mg PO ₄ ³⁻	0	0	0	0	0	0,00327	0,01275	0,00033	0,0134	0,0009	0,0009	0,0068
Grasas y Aceites mg/L	< 10,0	< 10,0	< 10,0	17,9	24,4	16	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0
Surfactantes * (SAAM) mg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,40	< 0,40	< 0,40
Fenoles mg/L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Pesticidas Organoclorados mg/L	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002

Campana	C1			C2			C3			C4		
	0,00	1,63	11,0	0,00	1,04	7,02	0,00	1,04	7,02	0,00	0,43	1,10
Profundidad (m)	0,00	1,63	11,0	0,00	1,04	7,02	0,00	1,04	7,02	0,00	0,43	1,10
Pesticidas Organofosforados mg/L	< 0,001 25	< 0,001 125										
Arsénico mg As/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,016	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Zinc mg Zn/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100
Cobre mg Cu/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	0,961	< 0,100	< 0,100	< 0,100
Hierro mg Fe/L	< 0,100	< 0,100	0,733	< 0,100	0,781	0,528	< 0,100	< 0,100	446,79	< 0,100	< 0,100	11,438
Manganeso mg Mn/L	< 0,050	< 0,050	0,188	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	25,96	< 0,050	< 0,050	0,508
Plomo mg Pb/L	0,011	< 0,0075	< 0,0075	0,029	< 0,0075	< 0,0075	0,046	0,042	1,568	< 0,0075	< 0,0075	0,013
Cianuro total mg CN ⁻ /L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1,04	3,57	16,41
Aniones (Cloruros) mg Cl/L	0,742	1,291	0,633	0,328	2,124	0,56	0,626	0,565	0,687	0,232	0,198	14,451
Aniones (Sulfatos) SO ₄ /L	3,921	3,58	3,927	2,037	3,44	3,433	3,534	3,223	4,875	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Calcio mg Ca/L	6,317	7,428	7,327	5,809	5,963	8,215	6,7	6,56	55,25	0,522	0,928	0,815
Magnesio mg Mg/L	2,988	3,226	3,236	2,909	3,013	3,716	2,514	2,58	67,529	1,39	2,523	3,474
Sodio mg Na/L	2,246	2,487	2,34	1,855	2,257	2,235	2,36	2,1	4,45	5,727	5,473	6,45
Coliformes totales NMP/100mL	1450	1376	2143	706	789	1553	435	1201	1220	686,7	2419,6	17329
<i>Escherichia coli</i> NMP/100mL	10	25	10	10	< 1	10	10	41	100	1	1	10
Clorofila-a mg/m ³	66,4	67,6	38,9	64,9	36	44	85,96	85,28	163,49	7,23	10,3	1,15

Campaña	C1			C2			C3			C4		
	0,00	1,63	11,0	0,00	1,04	7,02	0,00	1,04	7,02	0,00	0,43	1,10
Profundidad (m)	0,00	1,63	11,0	0,00	1,04	7,02	0,00	1,04	7,02	0,00	0,43	1,10
Ficocianina µg/mL.	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos mg /L	< 0,001 25	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125	<0,00 125					
Microcistina LR mg LR/L	< 0,000 1	< 0,000 1	0,000 25	< 0,000 1	< 0,000 1	< 0,000 1	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01
Microcistina YR mg YR/L	< 0,000 1	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01					
Microcistina RR mg RR/L	< 0,000 1	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01	<0,00 01					
Silicio mg Si/L	2,794	3,53	3,632	4,163	4,527	1,512	3,642	4,263	41,24 1	3,431	3,013	5,849
Hierro disuelto mg Fe/L	<0,0 50	<0,05 0	<0,05 0	0,254	0,408	0,82	<0,05 0	<0,05 0	1645, 4	2,208	2,14	2,321

3.3.2. Monitoreo de calidad del agua tributarios.

3.3.2.1. Parámetros monitoreados In Situ

Los resultados obtenidos de los parámetros medidos In Situ para los tributarios priorizados monitoreados en dos campañas, C1: Campaña 1 de tributarios (Temporada húmeda), C2: Campaña 2 de tributarios (Temporada seca), se presentan a continuación.

Tabla 23. Resultados de los parámetros In Situ medidos en el río Calima

Punto de muestreo:	Río Calima							
Variables	Punto de control		Puente Gaviones		Antes Embalse		Después Embalse	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Temperatura (°C)	18,7	20,6	18,4	19,8	20,5	20,5	21,2	23,7
pH	6,7	7,08	8,18	7,25	8,14	6,92	7,94	7,49
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7,66	7,69	6,81	7,81	7,42	7,62	7,87	7,47
Conductividad eléctrica (μS/cm)	60,6	69,9	60,9	74,2	81,6	79,9	60,4	98,7
Potencial REDOX (mV)	190,3	186,1	168,7	188,3	118,1	176,1	219,1	169,5

Tabla 24. Resultados de los parámetros In Situ medidos en la quebrada San José

Punto de muestreo:	Quebrada San José							
Variables	Punto de control		Pueblo		Antes Sinaí		Después Sinaí	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Temperatura (°C)	21,4	21,2	21,0	22,1	21,1	21,4	19,6	20,3
pH	7,96	7,59	7,9	7,34	8,02	6,55	8,42	7,08
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7,19	7,13	7,10	5,05	6,31	3,685	7,41	7,055
Conductividad eléctrica (μS/cm)	148,0	116,4	139,4	143,9	142,5	255	139,9	157,7
Potencial REDOX (mV)	166,2	152,8	147,7	144,6	132,6	150,25	152,1	111,55

Tabla 25 Resultados de los parámetros In Situ medidos en la quebrada PTAR

Punto de muestreo:	Quebrada PTAR			
Variables	Antes PTAR		Después PTAR	
	C1	C2	C1	C2
Temperatura (°C)	21,6	22,7	22,1	21,7
pH	7,93	7,41	8,02	7,17
Oxígeno Disuelto (mg/L)	6,48	4,94	1,92	2,42
Conductividad eléctrica (μS/cm)	89,8	74,8	342	342
Potencial REDOX (mV)	72,9	82,6	-3,6	51,6

3.3.2.2. Parámetros monitoreados en laboratorio

Los resultados de laboratorio hacen referencia a los parámetros físicos, químicos, microbiológicos e hidrobiológicos que se realizaron en las cuatro (4) campañas de muestreo para el embalse calima y en dos (2) campañas para los tres (3) tributarios priorizados.

Tabla 26. Resultados de parámetros medidos en laboratorio para las estaciones del río Calima

Estación	Punto de control		Puente Gaviones		Antes Embalse		Después Embalse	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Alcalinidad total mg CaCO ₃ /L	51	36,6	34.3	36,8	34	64,1	37.6	50,5
Dureza Total mg CaCO ₃ /L	68.1	26,8	33.1	25,2	39.1	26,9	44.3	45,7
Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO ₅ mg O ₂ /L	5	0,0	4	0,0	4	0	0	0,0
DQO KIT mg O ₂ /L	12.7	0,0	7.88	10,9	11.3	2	5.04	0,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO (5 días) filtrado mg O ₂ /L	5	< 5,0	5	< 5,0	5	< 5,0	5	< 5,0
Color verdadero UC	< 10,0	21,3	< 10,0	22,4	< 10,0	33,0	24.2	12,4
Carbono Orgánico total (COT) mg C/L	< 1,0	1,270	< 1,0	1,573	< 1,0	1,096	< 1,0	< 1,0
Sólidos Suspendidos Totales mg/L	1	45,0	3	6	6	11	3	8
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) mg/L	1	20,0	3	5,0	3	3	0	2
Sólidos Disueltos Totales mg/L	100	60,0	71	46,0	66	54,0	91	87,0
Turbiedad NTU	< 0,5	6,9	2.2	5,7	6.1	8,2	4.7	10
Nitrógeno Kjeldahl mg N/L	0,2	0,5	0,2	0,84	0,43	1,57	0,78	0,17
Nitrógeno Amoniacal mg NH ₃ -N/L	< 0,20	0,08	< 0,20	0,11	< 0,20	0,06	< 0,20	0,09
Aniones (Nitritos) mg NO ₂ -L	< 0,080	< 0,080	< 0,080	0,080	< 0,080	0,080	< 0,080	0,080
Aniones (Nitratos) mg NO ₃ -L	0.63	0,442	0.234	0,511	0.155	0,939	0.394	1,047
Fósforo Total mg P/L	0.1	0,019	0.11	0,017	0.15	0,023	0.16	0,018

Estación	Punto de control		Puente Gaviones		Antes Embalse		Después Embalse	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Fósforo Reactivo Total (leído como Ortofosfato) mg PO43- /L	0,0	0,0163	< 0,0032	0,0130	0,0228	0,0098	0,0032	0,0065
Grasas y Aceites mg/L	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	16,1	< 10,0	< 10,0
Surfactantes (SAAM) mg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Fenoles mg/L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Pesticidas Organofosforados mg/L	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125
Arsénico total mg As/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Bario total mg Ba/L	< 0,025	< 0,025	0,032	< 0,025	0,032	< 0,025	0,032	< 0,025
Cadmio total mg Cd/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zinc total mg Zn/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100
Cobre total mg Cu/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100
Cromo total mg Cr/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Hierro total mg Fe/L	0,179	0,389	0,435	0,968	0,375	0,422	0,347	< 0,100
Manganeso total mg Mn/L	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050
Mercurio total mg Hg/L	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010
Níquel total mg Ni/L	0,035	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075
Plomo total mg Pb/L	< 0,0075	0,029	0,037	< 0,0075	0,046	< 0,0075	< 0,0075	0,030
Selenio total mg Se/L	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008
Vanadio total mg V/L	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075
Hierro disuelto total mg Fe/L	< 0,05	7,890	< 0,05	9,887	< 0,05	9,481	< 0,05	11,357
Manganeso disuelto total mg Mn/L	< 0,050	0,708	< 0,050	1,177	< 0,050	0,635	< 0,050	0,186
Cianuro total mg CN-/L	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050
Aniones (Cloruros) total mg Cl-/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05	< 0,05	0,71	< 0,05	< 0,05
Aniones (Sulfatos) total mg SO²⁻/L 4	< 0,2	0,146	0,114	0,153	0,09	0,322	0,357	0,528
Calcio total mg Ca/L	5,018	3,896	3,583	2,950	3,008	3,464	4,219	4,977

Estación	Punto de control		Puente Gaviones		Antes Embalse		Después Embalse	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Parámetro								
Magnesio total mg Mg/L	13.803	5,143	5.202	4,751	6.206	5,614	6.3	8,844
Sodio total mg Na/L	4.27	2,102	1.848	2,129	1.84	2,679	1.902	4,824
Coliformes totales NMP/100mL	2.393	1,681	2.826	1,396	2.727	1,652	2.652	1,974
<i>Escherichia coli</i> NMP/100mL	15531	2419	32.3	12297	52.1	11190	162.4	17329
Clorofila-a mg/m³	1664	85	4.1	75	18.9	75	26.2	< 1
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos mg /L	5.54	6,09	11.6	3,56	9.42	2,68	7.86	9,76
Fosfatos mg PO₄³⁻ /L	< 0,0012 5	< 0,0012 5	< 0,0012 5	< 0,0012 5	< 0,0012 5	< 0,0012 5	< 0,0012 5	< 0,0012 5

Tabla 27. Resultados de parámetros medidos en laboratorio para las estaciones de la quebrada San José

Estación	Punto de control		Pueblo		Antes Sinaí		Después Sinaí	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Parámetro								
Alcalinidad total mg CaCO₃/L	85,8	63.3	82,3	68.8	86,2	92.7	75,2	75.8
Dureza Total mg CaCO₃/L	30,8	62	33,2	60.8	27,2	72.4	24,7	74.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO (5 días) mg O₂/L	0	16	9,0	16	1	61	0	8
DQO KIT mg O₂/L	0	39.3	107	41.1	35,5	91.7	4,88	13.4
Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO (5 días) filtrado mg O₂/L	< 5,0	11	< 5,0	16	< 5,0	26	< 5,0	6
Color verdadero UC	23,9	23.4	23,3	39.6	18,3	83.4	11,5	21.2
Carbono Orgánico Total (COT) mg C/L	< 1,0	1.088	3,431	3.727	2,159	7.426	< 1,0	11.04
Sólidos Suspendidos Totales mg/L	4	67	7	94	0	49	5	5
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) mg/L	4	23	1	36	0	30	2	2
Sólidos Disueltos Totales mg/L	85,0	92	100	117	102	165	101	117

Estación	Punto de control		Pueblo		Antes Sinaí		Después Sinaí	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Turbiedad NTU	6,6	70	6,9	85	3,7	55	4,1	1.1
Nitrógeno Kjeldahl mg N/L	0,62	1,78	5,77	1.16	4,82	1,01	0,34	0,35
Nitrógeno Amoniacal mg NH3-N/L	0,04	< 0,20	0,5	1.16	0,3	3.8	0,04	< 0,20
Aniones (Nitritos) mg NO2/L	< 0,080	0.085	< 0,080	0,127	0,128	0.142	< 0,080	0.124
Aniones (Nitratos) mg NO3/L	0,875	0.66	0,904	0.638	0,881	0.52	1,129	0.807
Fósforo Total mg P/L	0,07	0.35	0,07	0.26	0,12	0.42	0,063	0,061
Ortofosfatos mg PO4/L	0,0130	0,0490	0,0163	0,1535	0,0294	0,2549	0,0228	0,0359
Grasas y Aceites mg/L	< 10,0	< 10,0	23,0	< 10,0	23,1	10.7	< 10,0	< 10,0
Surfactantes (SAAM) mg/L	< 0,4	< 0,4	0,91	0.47	0,61	>1,5	< 0,4	< 0,4
Fenoles mg/L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Pesticidas Organofosforado mg /L	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125
Arsénico mg As/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Bario mg Ba/L	0,037	0.055	0,065	0.092	0,071	0.086	< 0,025	< 0,025
Cadmio mg Cd/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zinc mg Zn/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100
Cobre mg Cu/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100
Cromo mg Cr/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Hierro total mg Fe/L	0,303	2.309	0,243	0.472	0,501	0.708	0,338	0.117
Manganeso total mg Mn/L	< 0,050	0.16	< 0,050	0.149	0,104	0.228	< 0,050	0.083
Mercurio mg Hg/L	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010

Estación	Punto de control		Pueblo		Antes Sinaí		Después Sinaí	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Niquel mg Ni/L	< 0,0075	0.01	< 0,0075	0.013	< 0,0075	0.016	< 0,0075	0.011
Plomo mg Pb/L	< 0,0075	0,042 mg Pb/L	0,030	0.074	0,025	0.081	< 0,0075	0.049
Selenio mg Se/L	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008
Vanadio mg V/L	< 0,0075	0.015	< 0,0075	0.01	< 0,0075	0.008	< 0,0075	< 0,0075
Silicio mg/L	10,569		11,893		6,714		12,563	
Hierro disuelto mg Fe/L	0,379	0.452	0,277	0.416	0,311	0.356	0,409	0,222
Manganeso disuelto mg Mn/L	< 0,050	< 0,05	< 0,050	0,117	< 0,050	0,172	< 0,050	< 0,05
Cianuro total mg CN-/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Aniones (Cloruros) mg Cl /L	0,603	1,836	2,586	3,913	2,758	9.602	1,098	0,888
Aniones (Sulfatos) mg SO ₄ /L	3,690	3,709	5,313	7,105	5,119	9,524	3,895	3,922
Calcio mg Ca/L	11,50	12.473	13,244	11,378	12,866	15,453	13,489	10,838
Magnesio mg Mg/L	5,334	5.583	5,717	5.815	5,439	7.164	6,996	6.713
Sodio mg Na/L	2,195	3.282	5,615	7.307	4,923	15.844	3,095	3.891
Coliformes totales NMP/100mL	198630	81640	6,131 x 10+6	1553100	7,76 x 10+5	2419600	1,21 x 10+5	1413.6
<i>Escherichia coli</i> NMP/100mL	5,63 x 10+3	3050	6,24 x 10+5	648800	1,73 x 10+5	2419600	5,2 x 10+4	298.7
Clorofila-a mg/m ³	5,49	31.68	10,3	15.04	3,05	22.83	4,20	7.14
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos mg /L	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125
Fosfatos mg PO ₄ /L	< 0,18	< 0,18	0,37	0.44	0,28	0.64	< 0,18	0.34

Tabla 28. Resultados de parámetros medidos en laboratorio para las estaciones de la quebrada PTAR

Estación Parámetro	Antes de la PTAR		Después de la PTAR	
	C1	C2	C1	C2
Alcalinidad total mg CaCO ₃ /L	56,7	49.2	124	122
Dureza Total mg CaCO ₃ /L	42,7	67.3	70,2	78.9
Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO (5días) mg O ₂ /L	1	8	45,0	26
DQO KIT mg O ₂ /L	15,7	17.7	84,6	32.9
Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO (5 días) filtrada mg O ₂ /L	< 5,0	8	27,0	26
Color verdadero UC	35,2	38.3	98,7	60.6
Carbono Orgánico Total (COT) mg C/L	1,735	2.561	9,491	5.548
Sólidos Suspendidos Totales mg/L	22,0	26	87,0	16
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) mg/L	7,0	8	12,0	10
Sólidos Disueltos Totales mg/L	33,0	123	190	175
Turbiedad NTU	26	18	45	8.5
Nitrógeno Kjeldahl mg N/L	0,45	5	19,5	13.3
Nitrógeno Amoniacal mg NH ₃ -N/L	0,3	0.39	10,76	9.32
Aniones (Nitritos) mg NO ₂ /L	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080
Aniones (Nitratos) mg NO ₃ /L	0,497	0.943	1,024	0.446
Fósforo Total mg P/L	0,11	0.19	0,91	0.99
Ortofosfatos mg PO ₄ ³⁻ /L	0,0294	0,09150	0,8823	0,9052
Grasas y Aceites mg/L	19,5	10.2	26,0	< 10,0
Surfactantes (SAAM) mg/L	< 0,4	< 0,4	>1,5	1.45
Fenoles mg /L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Pesticidas Organofosforados mg /L	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125	< 0,00125
Arsénico mg As/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Bario mg Ba/L	0,054	0.102	0,046	0.069
Cadmio mg mg Cd/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zinc mg Zn/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100
Cobre mg Cu/L	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100
Cromo mg Cr/L	< 0,010	0.016	< 0,010	0.013
Hierro mg Fe/L	0,881	0.825	0,204	0.751
Manganeso	< 0,050	0.118	< 0,050	0.12
Mercurio mg Hg/L	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010
Níquel mg Ni/L	< 0,0075	0.092	< 0,0075	0.077
Plomo mg Pb/L	0,049	< 0.0075	0,033	< 0.0075
Selenio mg Se/L	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008
Vanadio mg V/L	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075
Silicio mg/L	9,142	0.05	6,177	< 0.05

Hierro disuelto mg/L	1,216	< 0,050	0,393	< 0,050
Manganeso disuelto mg/L	<0,050	< 0,05	<0,050	< 0,05
Cianuro total mg CN-/L	< 0,05	6.152	< 0,05	12.938
Aniones (Cloruros) mg Cl-/L	1,560	13.878	17,515	8.58
Aniones (Sulfatos) mg SO ₄ ²⁻ /L	2,045	13.803	12,247	15,108
Calcio mg Ca/L	7,549	4.093	15,207	6.379
Magnesio mg Mg/L	3,303	9.176	5,910	21,492
Sodio mg Na/L	3,682	1299000	26,326	241900
Coliformes totales NMP/100mL	120330	166400	5748000	173200
<i>Escherichia coli</i> NMP/100mL	8860	38.47	269000	5.25
Clorofila-a mg/m ³	43,2	< 0,00125	2,91	< 0,00125
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos mg /L	< 0,00125	0.52	< 0,00125	2.95
Fosfatos mg PO ₄ ³⁻ /L	< 0,18	0.05	3,92	< 0.05
Manganeso disuelto mg Mn/L	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050

3.3.3. Monitoreo de vertimientos

A continuación, se presentan los resultados de los parámetros tomados in situ y en el laboratorio para los cinco (5) puntos de vertimientos estudiados (Entrada PTAR municipal (cruda), Salida PTAR municipal (tratada), PTAR Majagua Villa Campestre, PTAR Centro Vacacional Comfandi y PTAR Celsia).

Vertimiento	Entrada PTAR municipal (cruda)		Salida PTAR municipal (tratada)		PTAR Celsia		PTAR Majagua Villa Campestre		PTAR Centro Vacacional Comfandi	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Caudal (l/s)	53,95	48,87	28,73	19,04	0,044	12,88	0,095	0,114	0,283	0,55
PH	7,34	6,685714 29	7,92	6,738571 43	7,12	6,89	7,36	7,408571 43	7,27	6,7957142 9
Temperatura °C	21	24,81428 57	23,9	24,52857 14	25,7	23,3	24,9	26,21428 57	24,4	26,314285 7
Alcalinidad total mgCaCO ₃ /L	135	133	206	148	84,9	58,3	280	278	199	232
Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO ₅ mg O ₂ /L	268	140	33	30	< 5,0	5	13	30	58	155

Vertimiento	Entrada PTAR municipal (cruda)		Salida PTAR municipal (tratada)		PTAR Celsia		PTAR Majagua Villa Campestre		PTAR Centro Vacacional Comfandi	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Demanda Química de Oxígeno-DQO mg O₂/L	550	249	119	147	40,8	11,8	69,3	38,9	144	387
Demanda Bioquímica de oxígeno-DBO5 filtrada mg O₂/L	148	50	13	15	< 5,0	N/A	8	25	38	115
Color verdadero UC	148	164	77	109 UC	31,3	70,6 UC	77,1	109 UC	77,7	553 UC
Carbono Orgánico Total (COT) C/L	67,54	16,09	11,71	7,122	4,98	5,009	8,76	11,96	19,9	69,68
Sólidos Suspendidos Totales mg/L	139	99	57	< 5,0	5	< 5,0	< 5,0	10	14	35
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) mg/L	128	71	49	2	< 5,0	1	< 0,5	4	< 0,5	29,5
Sólidos Sedimentables mL/L	1,4	2	< 0,5	< 0,50	< 0,5	N/A	5,1	< 0,5	1,5	< 0,5
Sólidos Disueltos Totales mg/L	364	249	246	198	131	100	299	284	272	372
Turbiedad NTU	140	120	50	24	12	5	8,8	8,1	25	65
Nitrógeno Kjeldahl mg N/L	18,3	18	33,5	18,4	7,2	< 5,00	33,6	44,2	19,8	31,2
Nitrógeno Amoniacal mg NH₃-N/L	17,2	8,32	26,7	12,6	6,9	< 0,20	32,8	39,8	17,6	22,6
Aniones (Nitritos) mgNO₂ /L	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080	< 0,080

Vertimiento	Entrada PTAR municipal (cruda)		Salida PTAR municipal (tratada)		PTAR Celsia		PTAR Majagua Villa Campestre		PTAR Centro Vacacional Comfandi	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Aniones (Nitratos) mg NO₃ /L	0,799	0,252	1,606	1,097	0,742	1,244	0,445	0,287	0,743	0,262
Fósforo Total mg P/L	1,65	1,52	2,8	2,13	0,84	0,24	4,13	5,7	2,78	2,69
Fósforo Reactivo Total (leído como Ortofosfato) mg/L PO₄³⁻	3,49	1,68	7,94	4,21	2,34	0,52	11,7	15	6,3	7,16
Fosfatos mg/L PO₄³⁻	1,21	1,89	2,92	4,44	0,97	0,68	< 5,0	17,6	16,5	7,47
Grasas y Aceites mg/L	50	41,6	10,4	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	10,6	15
Surfactantes (SAAM) mg/L	8,48	7,7	4,97	3,34	0,5	N/A	3,58	4,87	26,4	17,4
Fenoles mg/L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	0,26	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Arsénico mg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Bario mg Ba/L	< 0,050	0,138	< 0,050	0,091	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,12
Cadmio mg Cd/L	< 0,002	< 0,0020	< 0,002	< 0,0020	< 0,002	< 0,0020	< 0,002	< 0,0020	< 0,002	< 0,0020
Zinc mg Zn/L	< 0,200	0,612	< 0,200	0,501	< 0,200	1,037	< 0,200	< 0,200	< 0,200	1,05
Cobre mg Cu/L	< 0,200	< 0,200	< 0,200	< 0,200	< 0,200	< 0,200	< 0,200	< 0,200	< 0,200	< 0,200
Cromo mg Cr/L	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020
Hierro mg Fe/L	1,216	1,395	1,161	0,85	0,479	0,956	0,343	0,5	0,821	2,494
Manganeso mg Mn/L	< 0,100	0,67	< 0,100	0,548	< 0,100	0,725	0,195	0,442	< 0,100	0,943

Vertimiento	Entrada PTAR municipal (cruda)		Salida PTAR municipal (tratada)		PTAR Celsia		PTAR Majagua Villa Campestre		PTAR Centro Vacacional Comfandi	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Mercurio mg Hg/L	< 0,001 0	< 0,0010	< 0,001 0	< 0,0010	< 0,001 0	< 0,0010	< 0,001 0	< 0,0010	< 0,001 0	< 0,0010
Níquel mg Ni/L	< 0,015 0	0.602	< 0,015 0	1,121	< 0,015 0	1,372	< 0,015 0	< 0,0150	< 0,015 0	< 0,0150
Plomo mg Pb/L	0,062	0.031	0,046	0,023	< 0,015	< 0,015	0,047	0,045	0,034	0,042
Selenio mg Se/L	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008
Vanadio mg V/L	< 0,015 0	< 0,0150	< 0,015 0	< 0,0150	< 0,015 0	< 0,0150	< 0,015 0	< 0,0150	< 0,015 0	< 0,0150
Cianuro total mg CN-/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,25	< 0,1	< 0,1
Aniones (Cloruros) mg Cl/L	32,68 6	9,064	17,75 3	8,647	10,26 6	2,588	20,63 1	18,852	10,42 7	37,197
Aniones (Sulfatos) SO ₄ /L	24,38 1	9,922	10,03 1	6,628	5,98	8,375	5,408	12,499	2,583	5,368
Coliformes totales NMP/100mL	3.448 x 10 ⁸	2419600	7.215 x 10 ⁶	19863000	2.247 x 10 ³	24196 00	3.873 x 10 ⁵	79800	1.299 7 x 10 ⁸	2419600
Escherichia coli NMP/100mL	7.54 x 10 ⁷	410000	2.809 x 10 ⁶	17320000	< 1	19560 0	3.64 x 10 ⁴	16800	3 x 10 ⁵	16900
Compuesto orgánicos Volátiles mg /L	< 0,005 0	< 0,0050	< 0,005 0	< 0,0050	< 0,005 0	N/A	< 0,005 0	< 0,0050	< 0,005 0	< 0,0050
Conductividad (µS/cm)	638,1 1	447,7	498,8 1	496,4285 71	179,2 8	500,5	568,3 9	767,2857 14	624,6 7	680,14285 7
Oxígeno disuelto (mg/L O ₂)	1,08	2,224285 71	3,88	5,34	4,5	2,46	3,49	1,607142 86	5,14	2,8742857 1
Potencial redox (mV)	- 191,3 1	182,6428 57	149,7 9	180,9857 14	301,0 4	179,7	79,94	-213	131,0 3	- 76,571428 6

3.4. Resultados monitoreo hidrobiológico

Los indicadores hidrobiológicos de calidad del agua son organismos acuáticos que se utilizan para evaluar las condiciones de cuerpos de agua en términos de contaminación. Estos indicadores reflejan la calidad del ecosistema acuático, ya que analiza la presencia o ausencia de organismos sensibles a cambios en las condiciones del medio debidos a la contaminación, la disponibilidad de oxígeno, la temperatura, entre otros factores que se ven alterados por factores externos al ecosistema.

Para este estudio se analizan organismos como macroinvertebrados, macroinvertebrados bentónicos, fitoplancton, zooplancton, plantas acuáticas y peces. Se realiza el análisis para los dos tipos de sistemas acuáticos de la zona, los cuales se especifican a continuación:

- Sistemas lóticos (ríos y arroyos), los indicadores suelen ser organismos que se adaptan a corrientes de flujo constante con variación de velocidades. La presencia de ciertas especies indica aguas de baja contaminación o una buena calidad, mientras que otras indican contaminación o degradación de la calidad del agua.
- Sistemas lénticos (lagos y estanques), se evalúan organismos que viven en aguas de flujo lento. Aquí, la calidad del agua puede depender de factores como la estratificación térmica y la acumulación de nutrientes, afectando la diversidad y composición de las especies indicadoras.

El uso de estos indicadores permite identificar la calidad del agua a partir de la presencia de organismos vivos que al contrastarse con los resultados físicoquímicos permiten estimar el estado de calidad de forma integral.

3.5. Resultados Monitoreo Embalse Calima

3.5.1. Cianobacterias

El fenómeno de las cianobacterias en el embalse Calima es resultado de la interacción de diversos factores que actúan de manera combinada, por lo que su diagnóstico requiere la identificación de las causas y la determinación de los géneros o especies presentes en el cuerpo de agua. Cada floración puede estar compuesta por varias o pocas especies con características particulares, lo que permite evaluar correctamente su ocurrencia y dinámica. Conocer la biología y ecología de estas especies, así como sus características morfológicas y las condiciones climatológicas y de funcionamiento del embalse, es fundamental para implementar medidas de control eficaces ante este fenómeno.

El presente informe busca estudiar los factores ambientales, físicos y químicos relacionados con la presencia de cianobacterias en el embalse Calima. Se analizan la presencia y ausencia del complejo de cianobacterias, compuesto por varias especies del género *Microcystis*, así como la abundancia de células y colonias en las muestras recolectadas.

De las muestras analizadas, se puede identificar la presencia del género *Microcystis* sp. y *Aphanocapsa* sp. en algunos puntos del embalse. La presencia de estos géneros puede variar de acuerdo con los vertimientos cercanos, morfología, temperatura o presencia de vientos, en los puntos del embalse, así como en las profundidades consideradas. A continuación, se presentan los resultados de la observación e identificación taxonómica realizada para cada campaña.

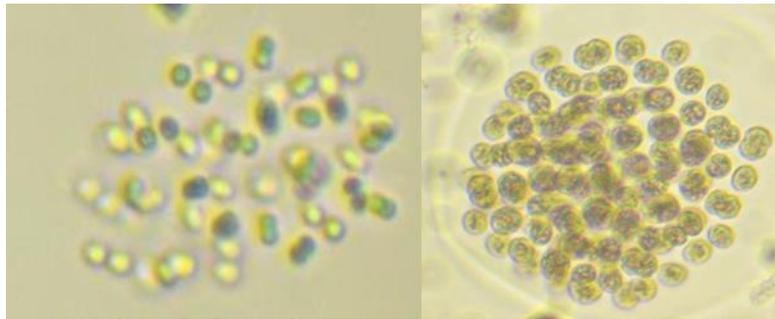


Figura 4. Muestra estación salida PTAR municipal del embalse, campaña 1, vista en 40X, donde se puede observar los géneros *Microcystis* sp. Lado derecho y *Aphanocapsa* sp. lado izquierdo

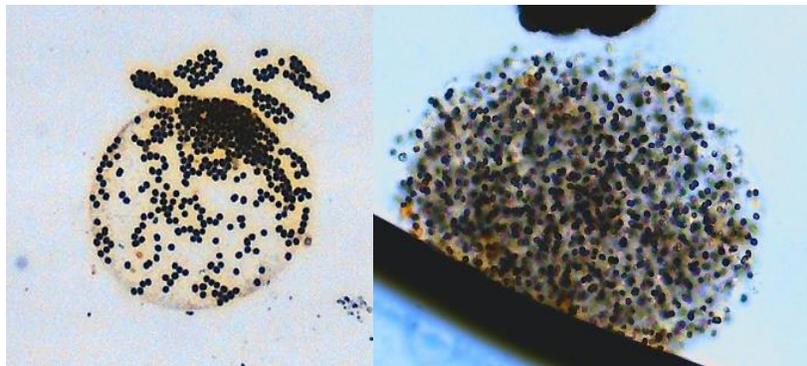


Figura 5. Muestra de la Estación Cola del Embalse, campaña 2, vista en 100X, donde se puede observar las colonias del complejo *Microcystis*.

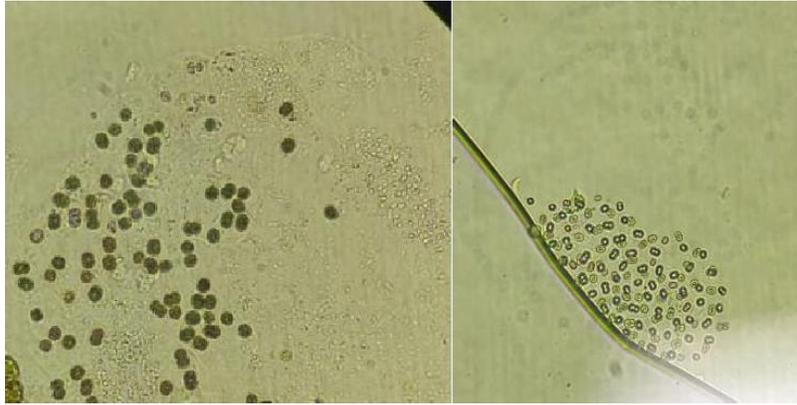


Figura 6. Muestra estación salida PTAR municipal, campaña 3, vista en 40X, donde se puede observar los géneros *Microcystis* sp. Lado derecho y *Aphanocapsa* sp. lado izquierdo

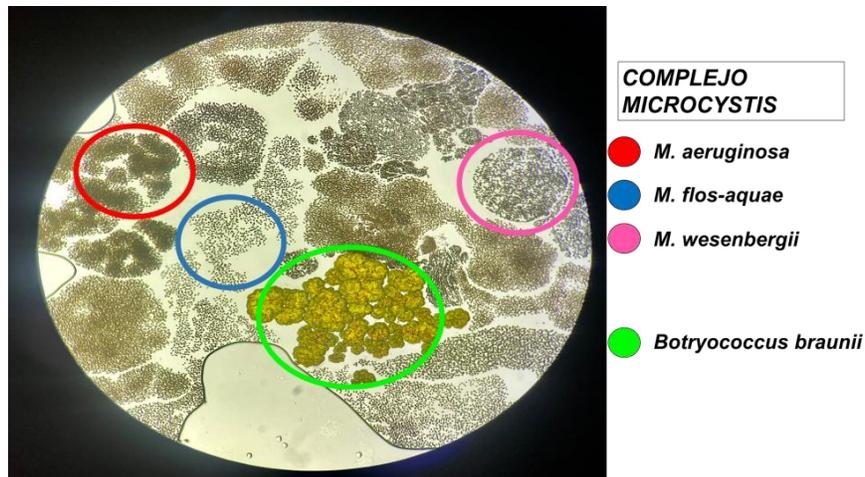


Figura 7. Muestra estación salida PTAR municipal del embalse, campaña 4, vista en 40X, donde se puede observar los géneros *Microcystis* sp. Lado derecho y *Aphanocapsa* sp. Lado izquierdo

En los muestreos realizados en el embalse, se observó la presencia del género *Microcystis*, específicamente la especie *M. Aeruginosa*, en la mayoría de los puntos de monitoreo del embalse, con excepción del área de la presa correspondiente a la estación de monitoreo Cabeza del Embalse. Las estaciones con mayor concentración de esta especie fueron la salida de la PTAR, la cola del embalse y Puerto Buga. El complejo de especies identificado, que incluye *M. Aeruginosa*, *M.*



Flos-aquae y *M. wesenbergii*, varía dependiendo de factores como los vertimientos cercanos, la morfología del embalse, la temperatura, y la acción de los vientos.

Adicionalmente, se detectó la presencia de los géneros *Microcystis* y *Aphanocapsa* en algunos puntos del embalse, con variaciones influenciadas por factores ambientales y geográficos, así como por la profundidad de las muestras recolectadas

Tabla 29. Número de colonias según especie en muestras de arrastre para las 4 campañas

Campaña	C1		C2				C3				C4		
	Microcystis sp	Aphanocapsa sp	Botryococcus braunii	M. aeruginosa	M. flos-aquae	M. wesenbergii	M. aeruginosa (ArFSu)	Aphanocapsa sp. (ArFSu)	M. aeruginosa (ArZFo)	Aphanocapsa sp. (ArZFo)	M. aeruginosa (ArFSu)	M. aeruginosa (ArZFo)	Aphanocapsa sp. (ArFSu)
Cola	4	0	0	0	0	0	14,3333	0,3333	3,3333	1	2	0,33	0
Salida PTAR	7,3	0,3	6,67	148,67	13	3	1,6667	1,6667	2,3333	0	0,33	0	0,33
	0	0	0	56,67	16,67	0,33	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0,33	24,67	6	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,7	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Entradas 4 - 5	1,3	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Puerto Buga	0	0	0	0	0	0	0,6667	0	0	0	0,67	0	0,33
	0	0	0	0	4	1,67	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0,67	0	0,33	0,33	0	0	0	0	0	0	0
	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Centro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Presa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,67	0	

Se evidencia que las cianobacterias *M. aeruginosa* y *Aphanocapsa* sp. están distribuidas de manera diferencial en las estaciones de muestreo. *M. aeruginosa* se concentra en la salida PTAR y la entrada 4 y 5, mientras que *Aphanocapsa* sp. es más abundante en Puerto Buga y entrada 4 y 5. La estación salida PTAR destaca por tener la mayor cantidad de colonias de las especies evaluadas.

A pesar del potencial tóxico de las especies de *Microcystis* identificadas, las concentraciones celulares no alcanzan niveles de alerta moderada según la OMS, aunque la salida PTAR municipal presenta la mayor densidad celular con un máximo de 741 cel/L.

Las muestras de arrastre, a diferencia de las volumétricas, muestran una mayor abundancia de individuos, sugiriendo que estos microorganismos están presentes, pero no siempre son detectables en las muestras convencionales. Las estaciones salidas PTAR y cola registran las mayores abundancias, lo que podría indicar que, si las condiciones ambientales cambian, podría haber una proliferación significativa de cianobacterias en estos puntos.

3.5.2. Fitoplancton

La recolección de muestras para el estudio de fitoplancton se realizó a tres (3) profundidades diferentes, las cuales se identificaron a partir de la cantidad de luz solar que penetra en la columna de agua, las profundidades de toma de muestra son, la subsuperficiales (Z0), el límite de la zona fótica (LZF) y al 50% de atenuación en la intensidad lumínica (Z50%).

En la Tabla 30 se presentan las siglas empleadas para cada una de las estaciones de muestreo dentro del embalse, teniendo el siguiente orden, Cola, Salida PTAR municipal, Entrada 4-5, Puerto Buga, Centro y terminando por la Presa, y las profundidades de recolección de muestra.

Tabla 30. Nombres de las estaciones de muestreo y su abreviación con respecto a la profundidad

Descripción	Etiqueta
Cola profundidad 1 (Z0)	E1
Cola profundidad 2 (Z50%)	E2
Cola profundidad 3 (LZF)	E3
Salida PTAR municipal profundidad 1 (Z0)	E4
Salida PTAR municipal profundidad 2 (Z50%)	E5
Salida PTAR municipal profundidad 3 (LZF)	E6
Entrada 4 - 5 profundidad 1 (Z0)	E7
Entrada 4 - 5 profundidad 2 (Z50%)	E8
Entrada 4 - 5 profundidad 3 (LZF)	E9
Puerto Buga profundidad 1 (Z0)	E10

Descripción	Etiqueta
Puerto Buga profundidad 2 (Z50%)	E11
Puerto Buga profundidad 3 (LZF)	E12
Centro profundidad 1 (Z0)	E13
Centro profundidad 2 (Z50%)	E14
Centro profundidad 3 (LZF)	E15
Presa profundidad 1 (Z0)	E16
Presa profundidad 2 (Z50%)	E17
Presa profundidad 3 (LZF)	E18

A continuación, se presentan las densidades poblacionales asociadas a cada estación de muestreo y morfotipo encontradas para las 4 campañas de monitoreo en cada profundidad monitoreada del embalse.

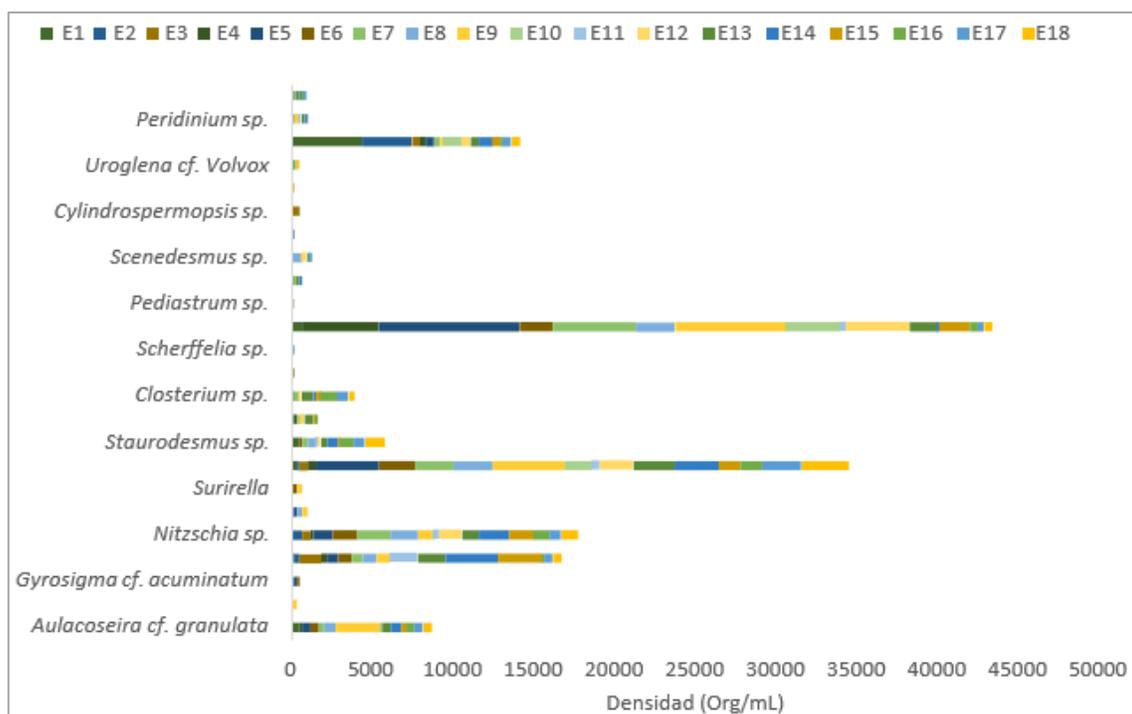


Figura 8. Densidad poblacional de Fitoplancton perteneciente a cada estación de muestreo, campaña 1.

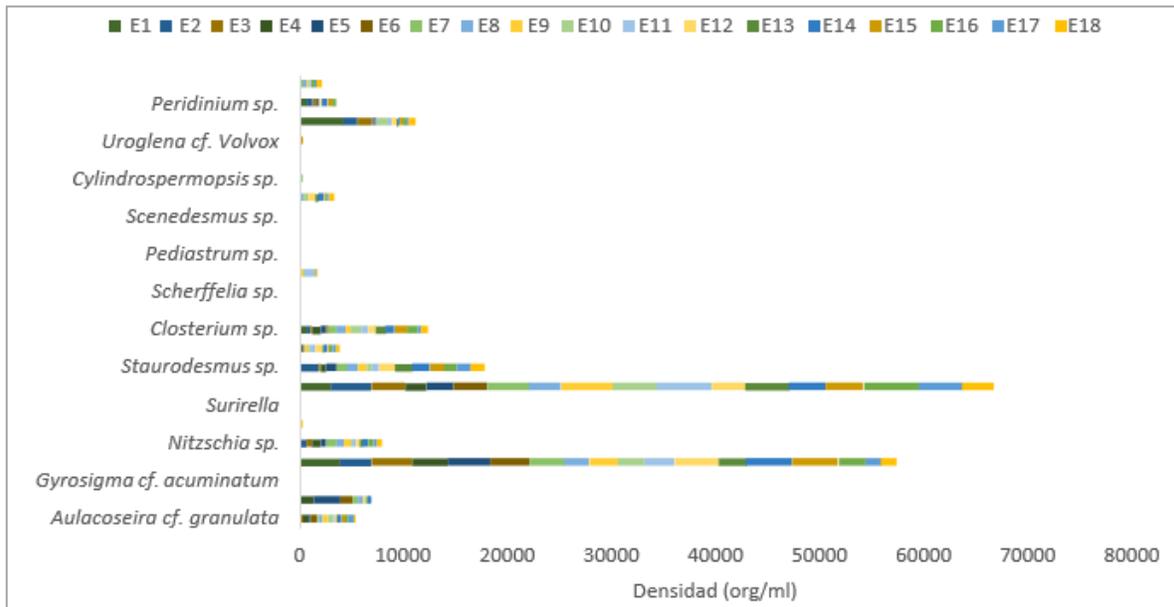


Figura 9. Densidad poblacional de Fitoplancton perteneciente a cada estación de muestreo, campaña 2.

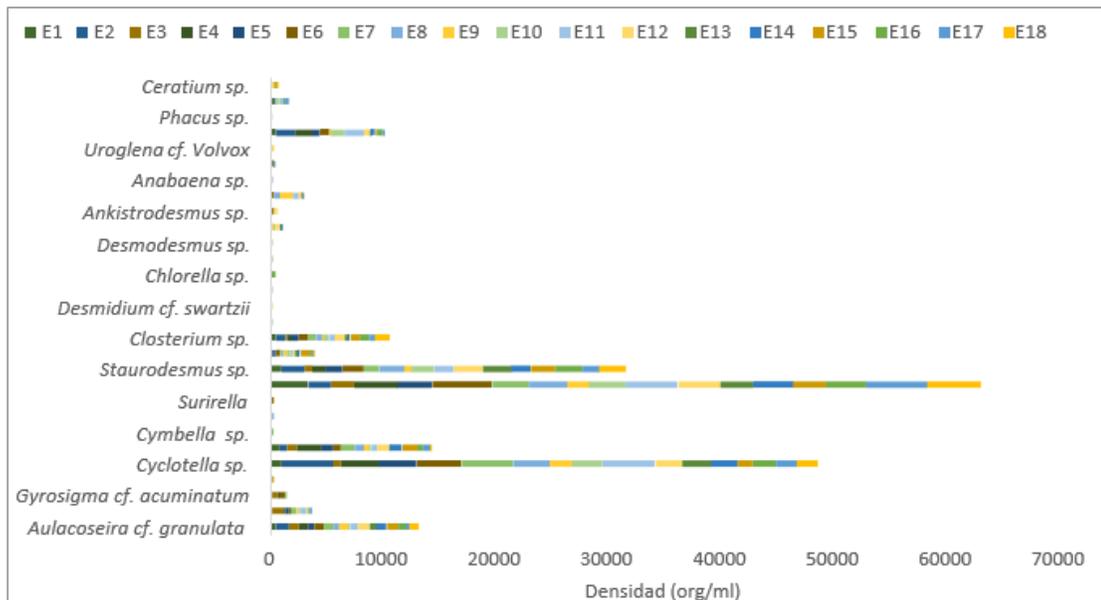


Figura 10. Densidad poblacional de Fitoplancton perteneciente a cada estación de muestreo, campaña 3.

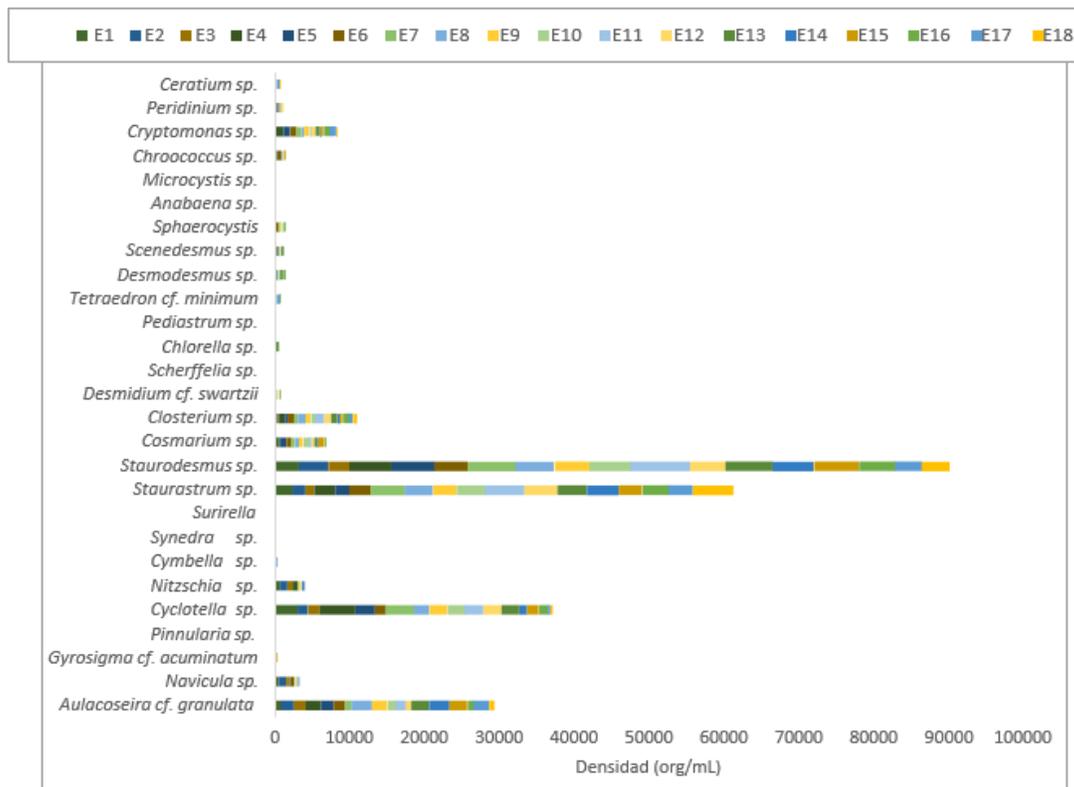


Figura 11. Densidad poblacional de Fitoplancton perteneciente a cada estación de muestreo, campaña 4.

Primera campaña: Los géneros más abundantes fueron Chlorella sp, seguido de Staurastrum sp, Nitzschia sp y Cyclotella sp.

- Nitzschia sp prospera en aguas claras, es sensible a la contaminación y a los cambios en el pH.
- Cyclotella sp tolera mejor la contaminación en comparación con Nitzschia.

Segunda campaña: Los géneros más abundantes fueron Staurastrum sp, seguido de Cyclotella sp, Staurodesmus sp y Closterium sp.

- Tanto Staurodesmus sp como Closterium sp son sensibles a la contaminación y al pH.

Tercera campaña: Las mayores densidades se obtuvieron para Staurastrum sp, Cyclotella sp y Staurodesmus sp.

Cuarta campaña: Se destaca nuevamente la sensibilidad de Staurodesmus sp a la contaminación y cambios de pH.

Todas las especies identificadas requieren de la luz solar y abundancia de nutrientes en el agua para su crecimiento y procesos fotosintéticos, por lo cual, los cambios en

las concentraciones de nutrientes influyen directamente en la presencia y abundancia de las especies.

La variación en la abundancia de especies a lo largo de las campañas se ve afectada por factores antrópicos como la contaminación orgánica e inorgánica, la variación del pH, la disponibilidad de nutrientes y la cantidad de luz solar que penetra en la columna de agua. Algunas especies presentan mayor sensibilidad a los cambios ambientales.

A continuación, se presentan los resultados asociados a las muestras de fitoplancton, para las tres (3) profundidades muestreadas en cada estación de muestreo.

Tabla 31. Compilado de resultados asociado a análisis de fitoplancton para las 4 campañas de monitoreo.

Estación	Campaña	Zona	Densidad poblacional (Org/mL)	Diversidad de Shannon (H')	Dominancia de Simpson (D)	Equidad de Pielou (J')	Riqueza de especies
Cola del Embalse	C1	Z0	6803	1,23	0,55	0,63	7
		Z50%	4932	1,33	0,59	0,64	8
		LZF	3401	1,5	0,75	0,93	5
	C2	Z0	12925	1,49	0,74	0,77	7
		Z50%	11735	1,7	0,78	0,82	8
		LZF	10034	1,55	0,72	0,7	9
	C3	Z0	8503	1,93	0,79	0,8	11
		Z50%	13776	1,94	0,82	0,81	11
		LZF	7993	2,28	0,87	0,89	13
	C4	Z0	11565	1,79	0,8	0,82	9
		Z50%	11395	1,87	0,81	0,81	10
		LZF	8673	1,88	0,81	0,82	10
Salida PTAR	C1	Z0	6803	1,2	0,5	0,55	9
		Z50%	15986	1,37	0,64	0,62	9
		LZF	7993	1,81	0,8	0,83	9
	C2	Z0	9524	1,72	0,78	0,88	7
		Z50%	11905	1,75	0,78	0,76	10
		LZF	9694	1,51	0,72	0,73	8
	C3	Z0	14116	1,91	0,82	0,8	11
		Z50%	11735	1,94	0,81	0,81	11
		LZF	15986	2	0,81	0,76	14
	C4	Z0	1904	1,96	0,81	0,74	14
		Z50%	14796	1,85	0,78	0,75	12
		LZF	14456	2,07	0,83	0,83	12

Estación	Campaña	Zona	Densidad poblacional (Org/mL)	Diversidad de Shannon (H')	Dominancia de Simpson (D)	Equidad de Pielou (J')	Riqueza de especies
Entrada 4 - 5	C1	Z0	12415	1,83	0,76	0,71	13
		Z50%	9524	1,87	0,82	0,9	8
		LZF	17347	1,7	0,75	0,71	11
	C2	Z0	11224	1,63	0,75	0,78	8
		Z50%	9864	2	0,82	0,81	12
		LZF	11565	1,79	0,75	0,72	12
	C3	Z0	12925	1,8	0,78	0,78	10
		Z50%	11735	1,81	0,79	0,79	10
		LZF	9014	2,24	0,86	0,83	15
	C4	Z0	18197	1,73	0,76	0,69	12
		Z50%	16156	1,82	0,8	0,76	11
		LZF	14456	1,83	0,8	0,79	10
Puerto Buga	C1	Z0	6633	1,19	0,64	0,74	5
		Z50%	3231	1,41	0,67	0,79	6
		LZF	8673	1,52	0,71	0,73	8
	C2	Z0	11395	1,93	0,79	0,75	13
		Z50%	12245	1,74	0,74	0,73	11
		LZF	12415	1,86	0,79	0,78	11
	C3	Z0	11054	1,87	0,8	0,78	11
		Z50%	15986	1,95	0,81	0,78	12
		LZF	13265	2,05	0,83	0,8	13
	C4	Z0	16156	1,88	0,79	0,73	13
		Z50%	19388	1,58	0,73	0,69	10
		LZF	15136	1,85	0,78	0,72	13
Puerto Buga	C1	Z0	10204	2,19	0,86	0,85	13
		Z50%	11054	1,93	0,81	0,78	12
		LZF	9184	1,89	0,81	0,82	10
	C2	Z0	11224	1,74	0,76	0,73	11
		Z50%	13265	1,87	0,79	0,78	11
		LZF	12415	1,76	0,77	0,73	11
	C3	Z0	10204	1,8	0,79	0,75	11
		Z50%	10204	1,69	0,78	0,81	8
		LZF	11395	2,09	0,85	0,84	12
	C4	Z0	17687	1,79	0,78	0,78	10
		Z50%	14966	1,64	0,75	0,69	11
		LZF	14966	1,7	0,76	0,74	10
C1	Z0	6122	2,12	0,86	0,88	11	
	Z50%	6633	2	0,82	0,87	10	

Estación	Campaña	Zona	Densidad poblacional (Org/mL)	Diversidad de Shannon (H')	Dominancia de Simpson (D)	Equidad de Pielou (J')	Riqueza de especies
Cabeza del Embalse	C2	LZF	7653	1,87	0,8	0,85	9
		Z0	12415	1,8	0,76	0,75	11
		Z50%	9184	1,69	0,73	0,73	10
	C3	LZF	9354	1,99	0,82	0,87	10
		Z0	11395	1,93	0,81	0,81	11
		Z50%	11735	1,79	0,73	0,7	13
	C4	LZF	11735	1,61	0,75	0,77	8
		Z0	13265	1,78	0,77	0,74	11
		Z50%	10544	1,51	0,74	0,84	6
			LZF	11054	1,26	0,64	0,65

Riqueza de especies (número de morfotipos):

- El mayor número de morfotipos fue de 15 especies en el límite de la zona fótica (LZF) de la Entrada 4-5.
- En otras estaciones, se encontraron entre 13 y 14 morfotipos, como en la subsuperficie (Z0) de Puerto Buga y la salida de la PTAR municipal.

Índice de diversidad de Shannon:

- Las estaciones con mayor diversidad fueron el centro del embalse (Z0), la Entrada 4-5 al 50% del límite de la zona fótica, y la Cola en el LZF.
- La menor diversidad se registró en Puerto Buga (Z0) y la Cola (Z0), lo que indica que factores ambientales pueden estar reduciendo la diversidad.

Índice de dominancia de Simpson:

- Las estaciones con una fuerte dominancia de algunas especies fueron el centro del embalse (Z0), la Entrada 4-5 (LZF) y la Cola (LZF), donde unas pocas especies son dominantes.
- En contraste, en la Salida PTAR municipal y la Presa (LZF) la abundancia de especies se distribuyó de manera más uniforme.

Índice de equidad de Pielou:

- La equidad, o distribución equitativa de las especies, fue mayor en la Cola (LZF) y en la Presa al 50% de la atenuación de la luz, indicando una distribución más uniforme de las especies presentes en estas zonas.

En resumen, las estaciones presentan variaciones significativas en la riqueza, diversidad y dominancia de especies, influenciadas por condiciones ambientales

específicas, donde algunas zonas muestran mayor dominancia y equidad en la distribución de especies.

3.5.3. Plantas acuáticas.

Las plantas acuáticas son indicadores biológicos del estado de calidad del agua de un lago o embalse. Su presencia, distribución y abundancia se ven afectadas por las condiciones ambientales y de calidad del agua. Algunas especies son sensibles a contaminantes presentes en el agua, como las concentraciones de nutrientes, metales pesados o cambios en el oxígeno disuelto.

Por lo anterior las plantas acuáticas se consideran un bioindicador para la evaluación del estado trófico del embalse y sus niveles de eutrofización. El análisis de la composición de la flora acuática permite realizar un monitoreo continuo de la calidad del agua, contribuyendo a la gestión y preservación de estos ecosistemas.

En el presente estudio se recolectaron ejemplares de *Eicchornia* cf. *Crassipes* en todas las estaciones del embalse y *Eicchornia* cf *heterosperma* en la estación Cola del Embalse.



Figura 12. Planta Acuáticas del Embalse Calima – Estación Salida PTAR

3.5.4. Zooplancton

El monitoreo del zooplancton se realizó de forma análoga al fitoplancton y conforme con las profundidades presentes en la Tabla 30, a continuación, se presentan las densidades poblacionales asociadas a cada estación de muestreo y morfotipo encontradas para las 4 campañas de monitoreo en cada profundidad monitoreada del embalse.

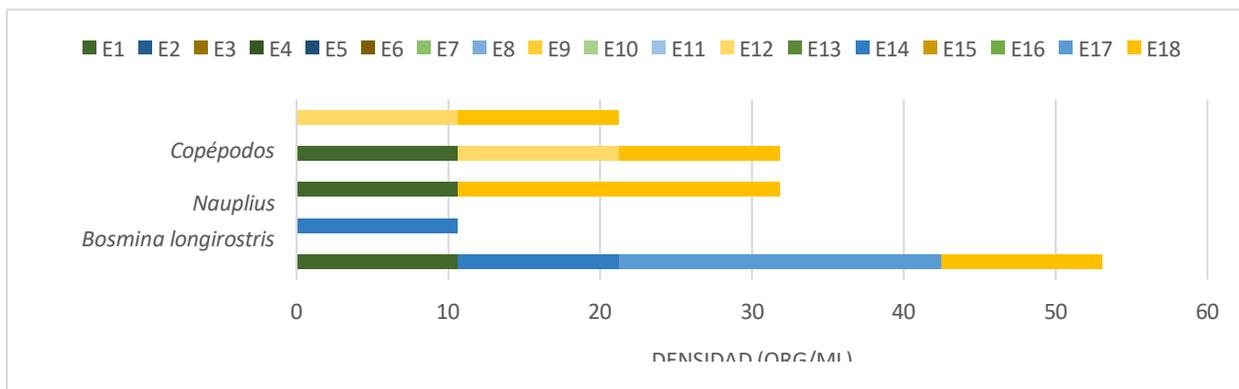


Figura 13. Densidad poblacional de Zooplancton perteneciente a cada estación de muestreo, campaña 1.

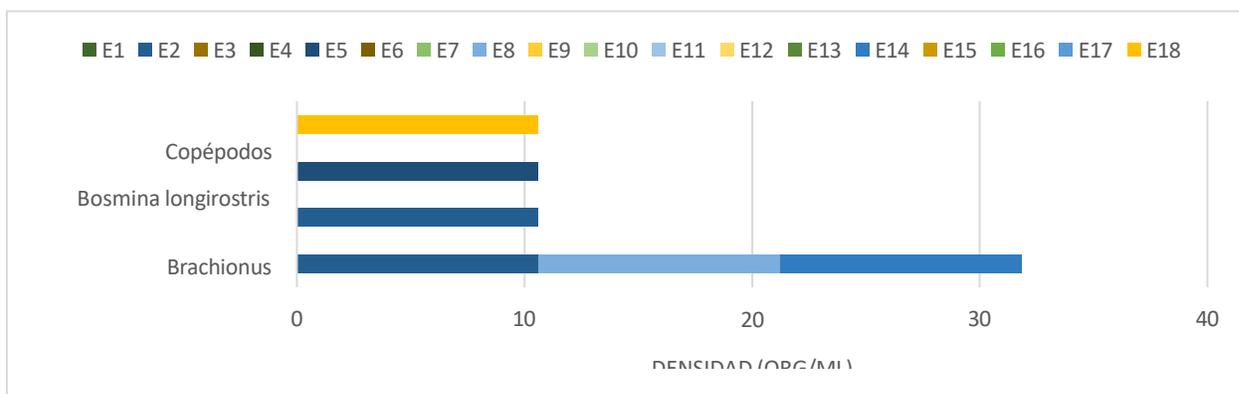


Figura 14. Densidad poblacional de Zooplancton perteneciente a cada estación de muestreo, campaña 3.

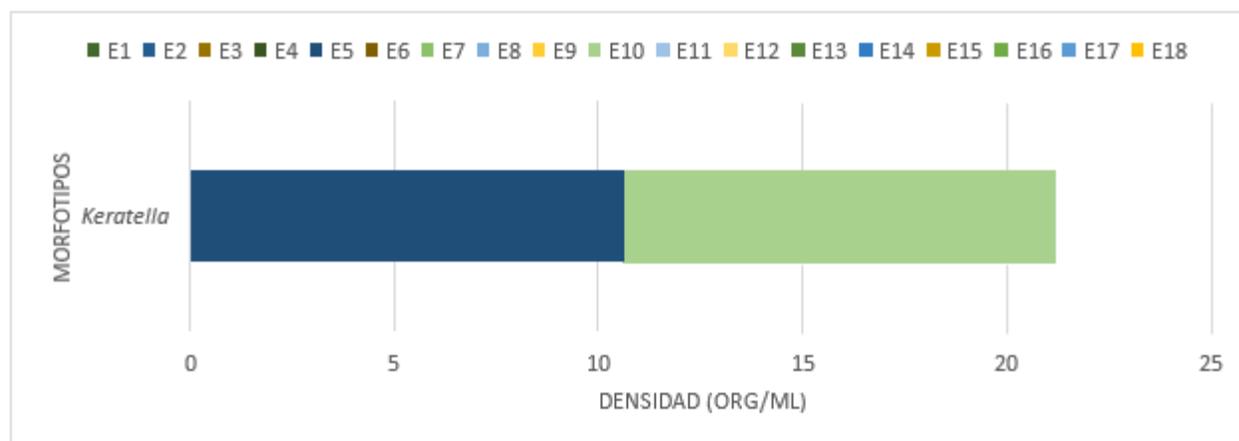


Figura 15. Densidad poblacional de Zooplancton perteneciente a cada estación de muestreo, campaña 4.

En la segunda campaña de monitoreo, no se registraron organismos en ninguna de las muestras cuantitativas, ya que al momento de realizar los conteos no se observó ningún organismo presente en dichas observaciones. Sin embargo, de las muestras

cuantitativas, se lograron observar algunos individuos, como los copépodos en diferentes estadios de desarrollo, rotíferos (*Keratella* cf. *Cochlearis*, *Brachionus*, *Polyarthra*, *Trichocerca*), y crustáceos (*Bosmina* cf. *Longirostris*).

A continuación, se presentan los resultados asociados a las muestras de zooplancton, para las tres profundidades muestreadas en cada punto.

Estación	Campaña	Zona	Densidad poblacional (Org/mL)	Diversidad de Shannon (H')	Dominancia de Simpson (D)	Equidad de Pielou (J')	Riqueza de especies
Cola del Embalse	C1	Z0	32,00	1,10	0,67	1,00	3,00
	C3	Z50%	21,00	2,00	-	-	-
Salida PTAR	C3	Z50%	11,00	1,00	-	-	-
	C4	Z50%	11,00	1,00	-	-	-
Entrada 4 - 5	C3	Z50%	11,00	1,00	-	-	-
Puerto Buga	C1	LZF	21,00	0,69	0,50	1,00	2,00
	C4	Z0	11,00	1,00	-	-	-
Centro	C1	Z50%	21,00	0,69	0,50	1,00	2,00
	C3	Z50%	11,00	1,00	-	-	-
Cabeza del Embalse	C1	Z50%	21,00	-	-	-	1,00
		LZF	53,00	1,33	0,72	0,96	4,00
	C3	LZF	11,00	1,00	-	-	-

En la segunda campaña de monitoreo en ninguna de las muestras cuantitativas, ya que al momento de realizar los conteos no se evidenció ningún organismo presente en dichas observaciones. Sin embargo, de las muestras cualitativas, se lograron observar algunos individuos. A continuación, se presentan los Zooplantares más comunes encontrados en cada una de las campañas.

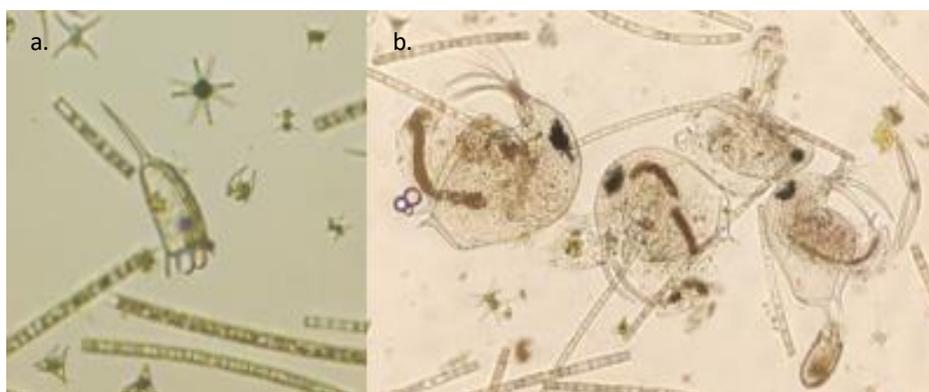


Figura 16. Zooplantares más comunes campaña 1, muestras de arrastres. (a) *Keratella* (b) *Bosmina* cf *Longirostris*.

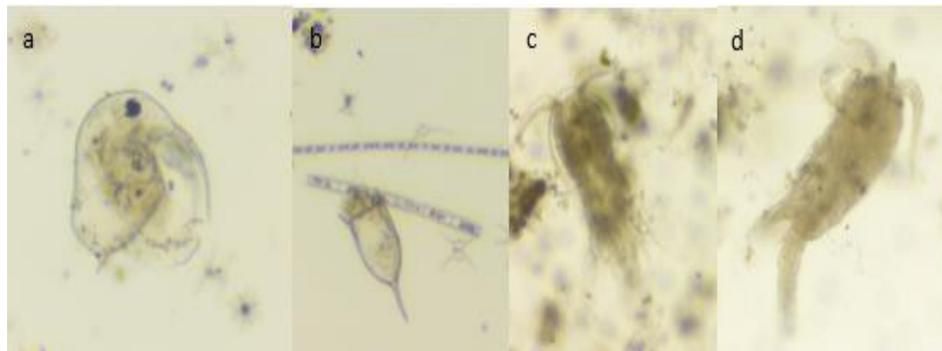


Figura 17. Zooplancton observado en muestras de arrastre campaña 2. (a) *Bosmina* cf *Longirostris*. (b) *Keratella* (c,d) *Copépodos*



Figura 18. Zooplancton observado en muestras de arrastre, campaña 4. (a) *Bosmina* cf *Longirostris*, (b) *Keratella* (c) *Copépodo*, (d) *Trichocerca*

3.5.5. Macroinvertebrados

Los Macroinvertebrados son organismos utilizados como indicadores biológicos para evaluar la calidad del agua, ya que responden de manera sensible a cambios en las condiciones ambientales, calidad del agua y a la contaminación. A continuación, se presentan los resultados de los monitoreos de invertebrados en las estaciones de monitoreo del embalse Calima.

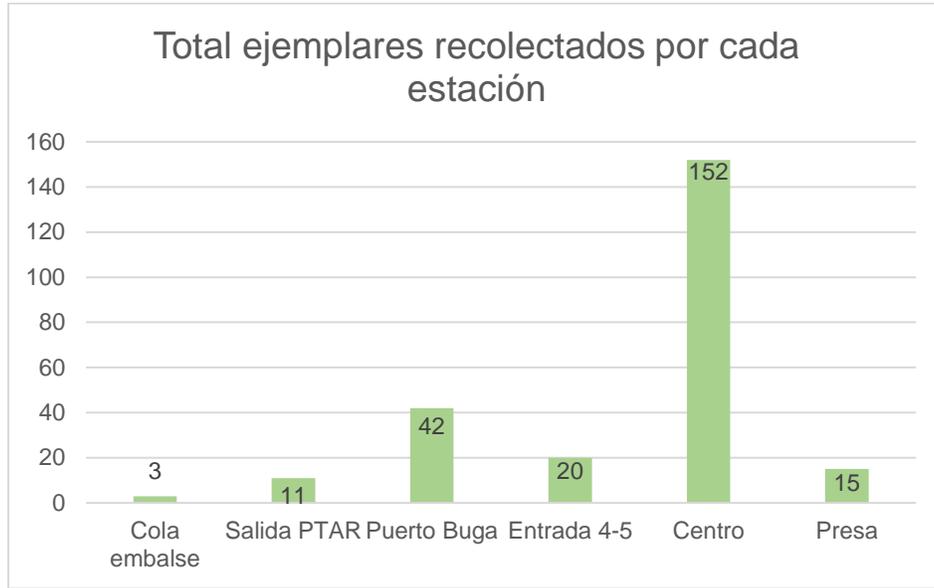


Figura 19. Total de individuos de macroinvertebrados por estación, campaña 1

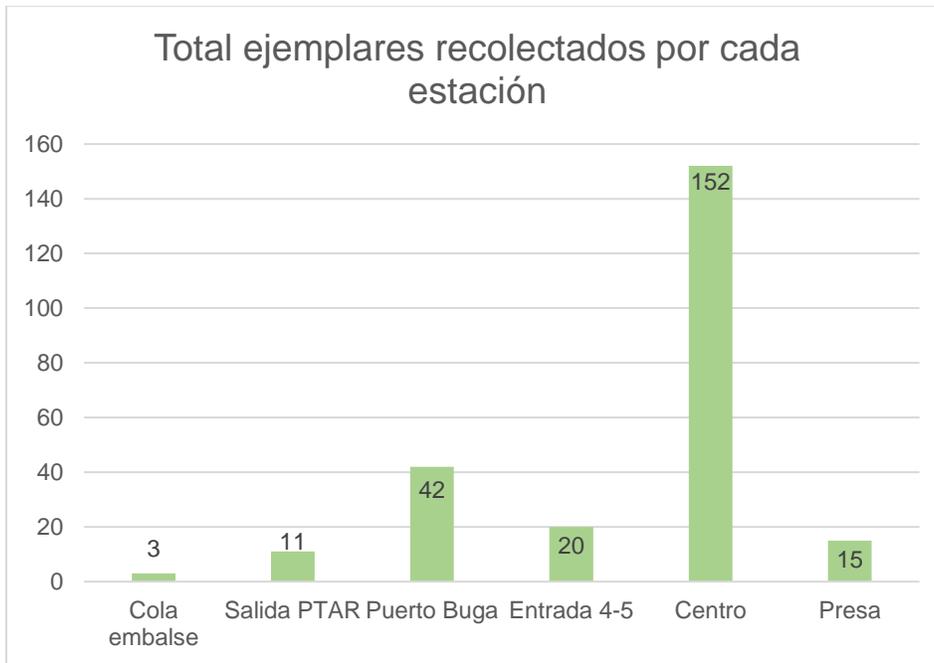


Figura 20. Total de individuos de macroinvertebrados por estación, campaña 3

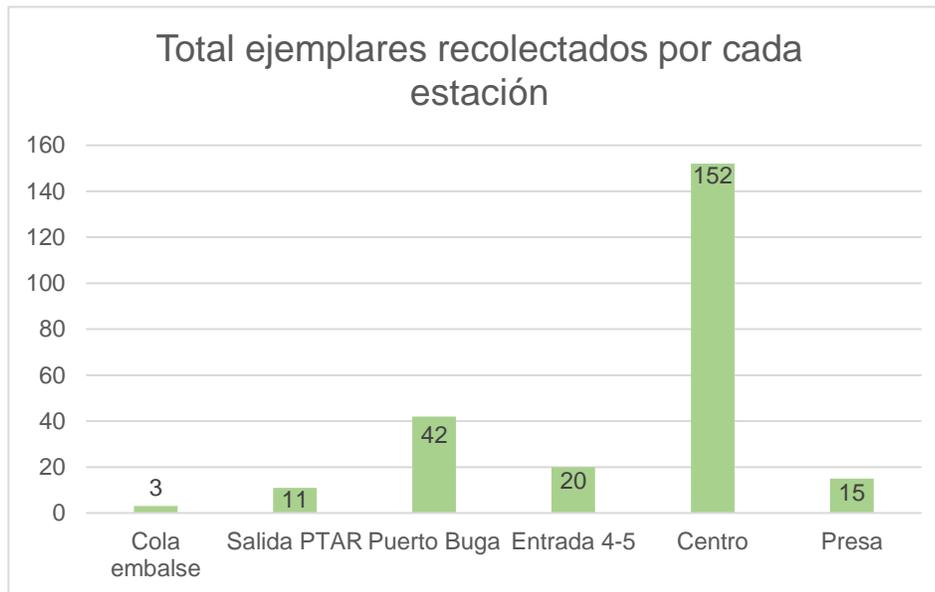


Figura 21. Total de individuos de macroinvertebrados por estación, campaña 4

A continuación, se presentan las abundancias por cada familia y estación consigna el nombre científico de cada prototipo hasta nivel de género, y el total de individuos encontrado para cada una de las estaciones.

Tabla 32. Abundancias de macroinvertebrados por estación y campaña de monitoreo

Familia	Genero	Cola embalse	Salida PTAR	Puerto Buga	Entrada 4-5	Majagua	Presa
Campaña 1 Macroinvertebrados acuáticos							
Oligoneuriidae	<i>Lachlania</i>	0	0	0	0	0	1
Thiaridae	<i>Melanoides tuberculata</i>	0	0	0	0	2	7
Elmidae	<i>Macrelmis</i>	0	0	0	0	0	1
Elmidae	<i>Cylloepus</i>	0	0	0	0	0	1
Simuliidae	<i>Simulium</i>	0	0	0	0	0	1
Chironominae	<i>Metriocnemus</i>	0	0	0	0	0	2
Gerridae	<i>Metrobates</i>	0	0	11	0	0	0
Architaenioglossa	<i>Pomacea(c.f.)</i>	0	10	1	0	4	0
Corbiculidae	<i>Corbicula</i>	0	0	0	0	20	0
Campaña 3 Macroinvertebrados acuáticos							
Familia	Genero	Cola	Salida PTAR	Entrada 4-5	Puerto Buga	Centro	Presa
<i>Architaenioglossa</i>	<i>Pomacea(c.f.)</i>	0	1	0	0	0	0

Familia	Genero	Cola embalse	Salida PTAR	Puerto Buga	Entrada 4-5	Majagua	Presa
<i>Gerridae</i>	<i>Trepobates</i>	0	0	0	28	0	2
<i>Cicadellidae</i>	<i>Carneocephala</i>	0	0	0	0	2	0
desconocido		0	0	0	0	1	0
desconocido	desconocido	0	0	0	0	1	0
<i>Corbiculidae</i>	<i>Corbicula</i>	0	0	65	0	0	0
desconocido		0	0	0	0	0	1
<i>Oligoneuriidae</i>	<i>Lachlania</i>	0	0	0	0	0	2
<i>Libellulidae</i>	<i>Dythemis</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Helicopsychidae</i>	<i>Leptonema</i>	0	0	0	0	0	7
Campaña 4 Macroinvertebrados acuáticos							
Familia	Genero	Cola	Salida PTAR	Entrada 4-5	Puerto Buga	Centro	Presa
<i>Tubificidae</i>		2	4	0	0	0	0
<i>Thiaridae</i>	<i>Melanoides tuberculata</i>	1	0	2	0	61	2
<i>Architaenioglossa</i>	<i>Pomacea(c.f.)</i>	0	3	0	0	0	0
<i>Corbiculidae</i>	<i>Corbicula</i>	0	4	18	0	91	13
<i>Gerridae</i>		0	0	0	42	0	0

3.5.6. Peces

A continuación, se presenta el total de individuos de todas las especies identificadas, para cada una de las estaciones de monitoreo del embalse Calima para las cuatro campañas de monitoreo.

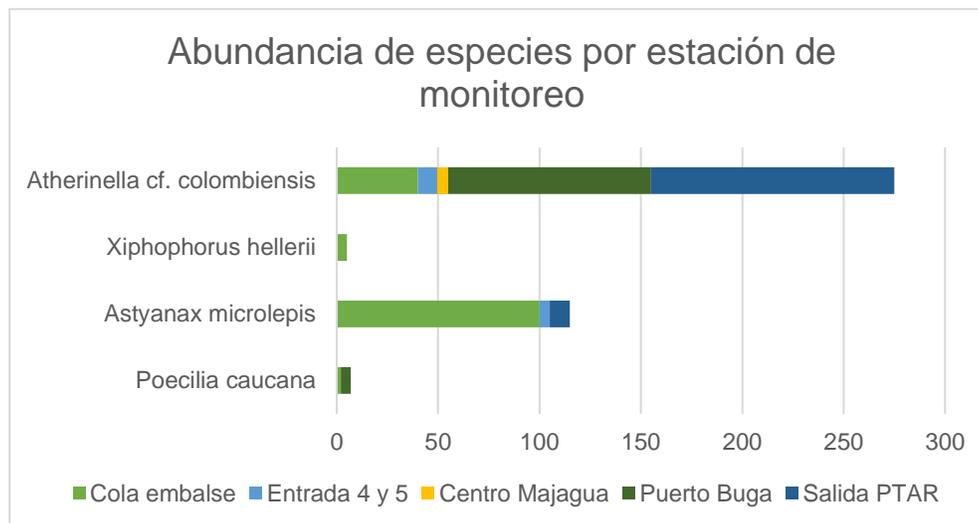


Figura 22. Total de especies de peces por estación de muestreo, campaña 1

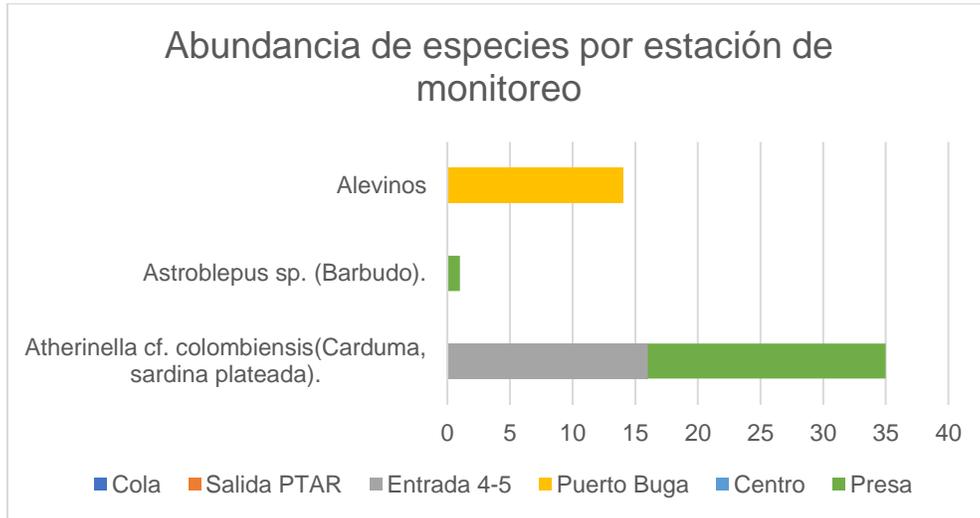


Figura 23. Total de especies de peces por estación de muestreo, campaña 2

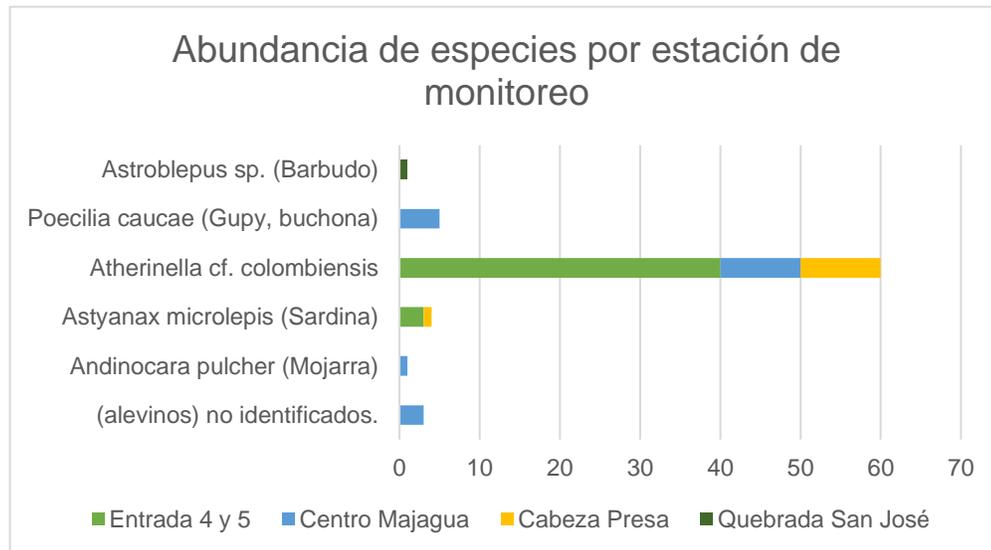


Figura 24. Total de especies de peces por estación de muestreo, campaña 3

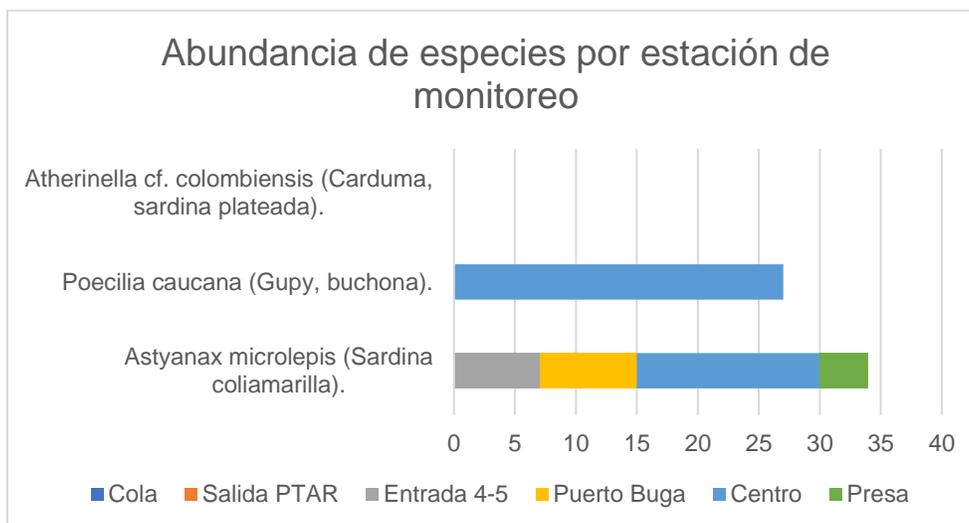


Figura 25 Total de especies de peces por estación de muestreo, campaña 4

En la Tabla 33, presenta la abundancia de peces recolectados y las especies identificadas en cada estación de monitoreo del embalse Calima para las 4 campañas de monitoreo.

Tabla 33. Abundancia de peces recolectados en las estaciones del embalse Calima para las cuatro campañas

Especie	Cola	Salida PTAR municipal	Puerto Buga	Entrada 4-5	Centro	Presa
Muestreo campaña 1						
<i>Atherinella cf. colombiensis</i> (Carduma, sardina plateada)	21	-	81	4	13	1
<i>Xiphophorus hellerii</i> (Cola de espada).	1	-	-	-	-	-
<i>Astyanax microlepis</i> (Sardina coliamarilla).	76	-	4	-	-	-
<i>Poecilia caucana</i> (Gupy, buchona).	-	-	2	1	5	-
Muestreo campaña 2						
<i>Astroblepus sp.</i> (Barbudo)	0	0	0	0	0	0
<i>Poecilia caucana</i> (Gupy, buchona).	0	0	3	0	0	0

Especie	Cola	Salida PTAR municipal	Puerto Buga	Entrada 4-5	Centro	Presa
<i>Atherinella cf. colombiensis</i> (Carduma, sardina plateada)	0	0	0	6	26	10
<i>Astyanax microlepis</i> (Sardina coliamarilla).	0	0	0	5	0	4
<i>Andinocara pulcher</i> (Mojarra)	0	0	0	0	1	0
(alevinos) no identificados	0	0	0	0	2	0
Muestreo campaña 3						
<i>Atherinella cf. Colombiensis</i> (Carduma, sardina plateada)	0	0	16	0	0	19
<i>Astroblepus sp.</i> (Barbudo).	0	0	0	0	0	1
Alevinos	0	0	0	14	0	0
Muestreo campaña 4						
<i>Astyanax microlepis</i> (Sardina coliamarilla).	0	0	7	0	15	4
<i>Poecilia caucana</i> (Gupy, buchona).	0	0	0	8	0	0
<i>Atherinella cf. colombiensis</i> (Carduma, sardina plateada).	0	0	0	0	27	0

3.6. Resultados Monitoreo tributarios priorizados.

El monitoreo de parámetros hidrobiológicos se realizó de manera análoga al monitoreo fisicoquímico en las estaciones definidas en la Tabla 10, a continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los tributarios priorizados (Quebrada San José, Río Calima y Quebrada PTAR).

3.6.1. Perifiton – Tributarios priorizados

3.6.1.1. Quebrada PTAR

En la Figura 26, se encuentran consignadas las densidades poblacionales asociadas a cada estación de muestreo y morfotipo encontrados en la quebrada PTAR.

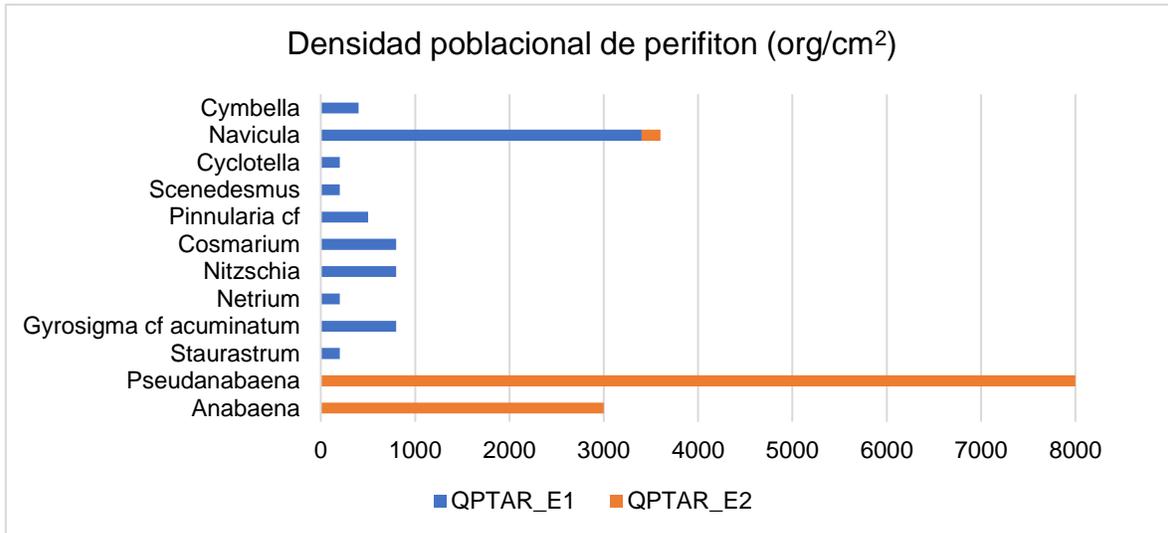


Figura 26. Densidad poblacional de perifiton perteneciente a cada estación de muestreo – Quebrada PTAR, campaña 2

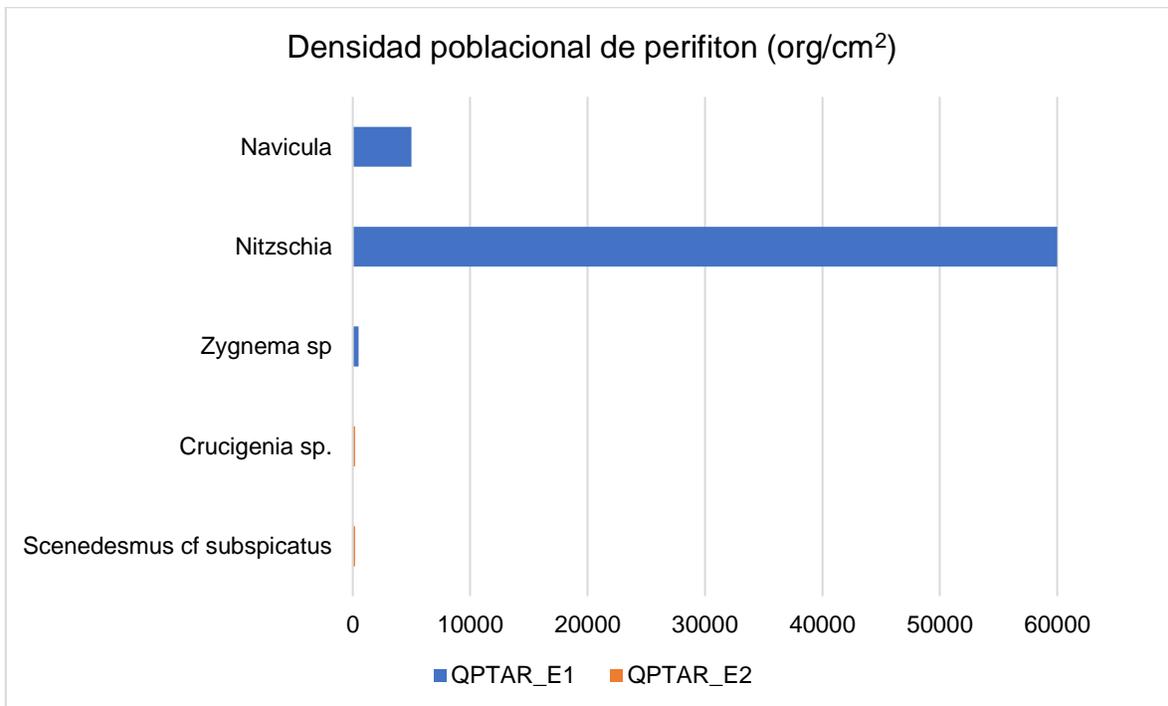


Figura 27. Densidad poblacional de perifiton perteneciente a cada estación de muestreo – Quebrada PTAR, campaña 3

En la campaña 2, *Navicula* fue el género más abundante, lo que sugiere la presencia de nutrientes como nitrógeno y fósforo en el ambiente acuático, además de ser indicador de sensibilidad a variaciones en el pH. En la campaña 3, la estación 1 presentó mayor abundancia y diversidad con tres géneros distintos de perifiton, mientras que en la estación 2 solo se encontraron dos géneros con baja abundancia.

3.6.1.2. Río Calima

En la Figura 28, se encuentran consignadas las densidades poblacionales asociadas a cada estación de muestreo y morfotipo encontrados en el río Calima.

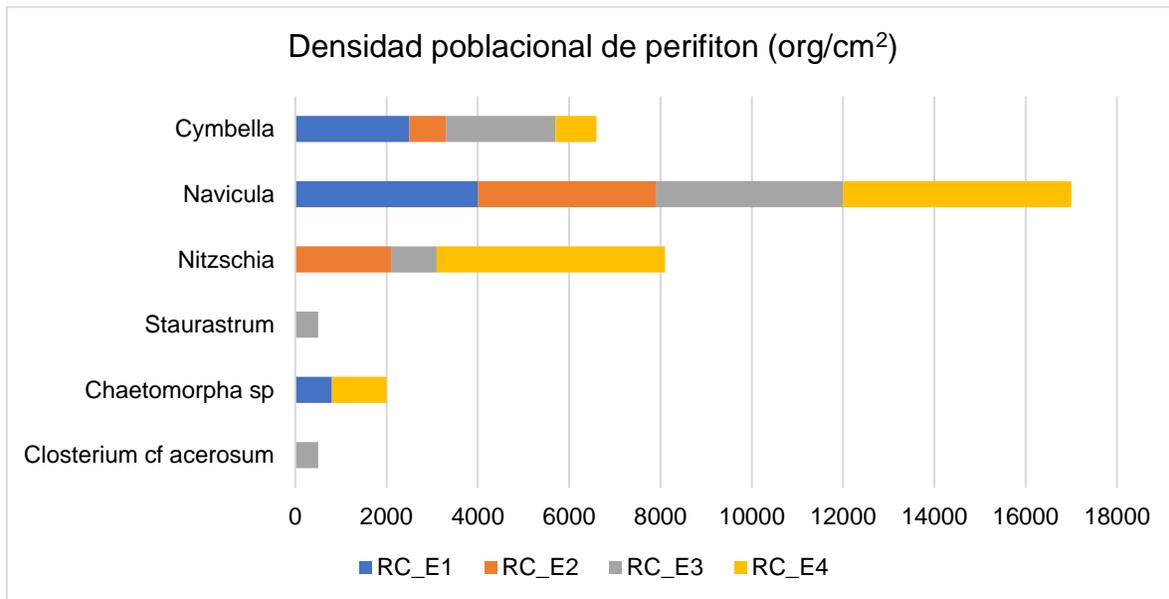


Figura 28. Densidad poblacional de perifiton perteneciente a cada estación de muestreo – Río Calima, campaña 2

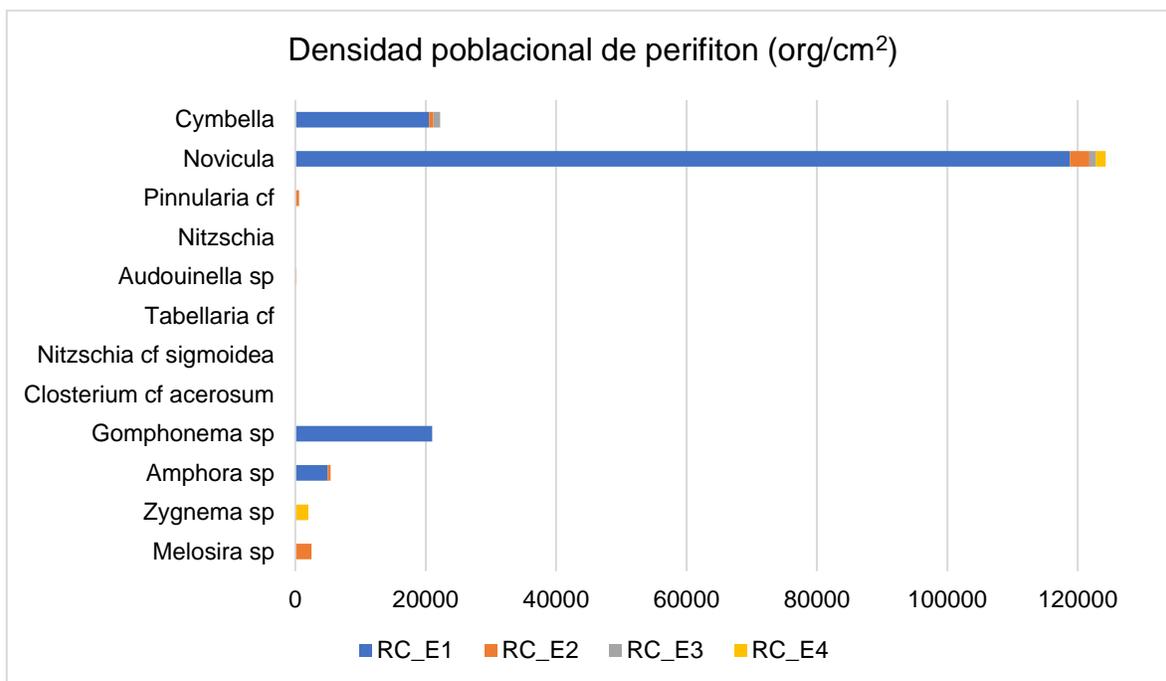


Figura 29. Densidad poblacional de perifiton perteneciente a cada estación de muestreo – Río Calima, campaña 3

En la campaña 2, la mayor densidad fue registrada en la estación 4 para el morfotipo *Nitzschia*, mientras que *Navicula* estuvo presente en todas las estaciones del río Calima. En la campaña 3, *Navicula* también mostró la mayor densidad en la estación 1 y se mantuvo presente en las cuatro estaciones de monitoreo.

3.6.1.3. Quebrada San José

En la Figura 30, se encuentran consignadas las densidades poblacionales asociadas a cada estación de muestreo y morfotipo encontrados en el río Calima.

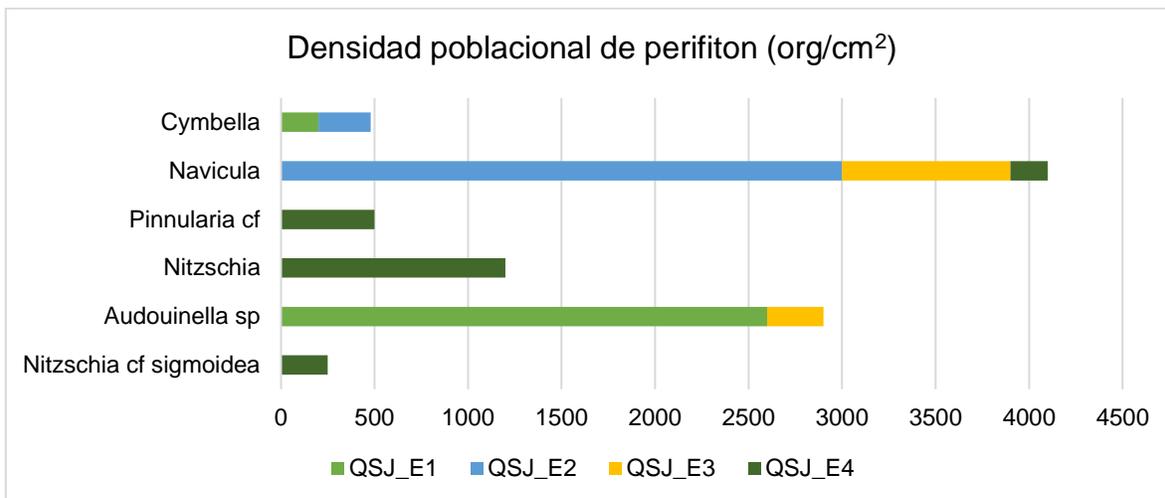


Figura 30. Densidad poblacional de perifiton perteneciente a cada estación de muestreo – Quebrada San José, campaña 2

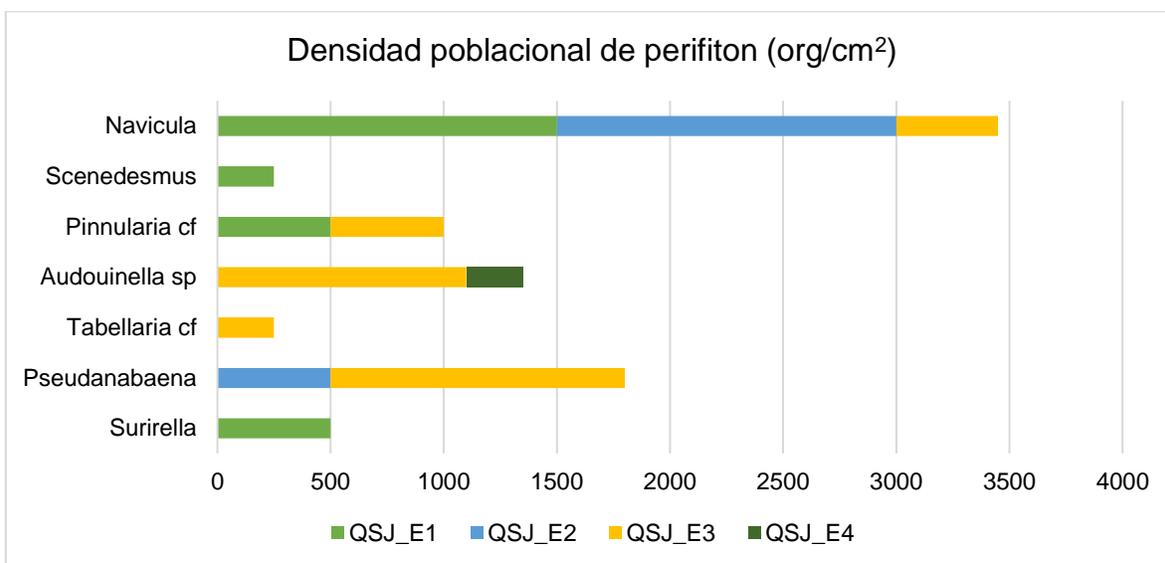


Figura 31. Densidad poblacional de perifiton perteneciente a cada estación de muestreo – Quebrada San José, campaña 3

En la campaña 2, la mayor densidad se registró en la estación 2 para el morfotipo *Navicula*, el cual estuvo presente en las estaciones 2, 3 y 4. En la campaña 3, las mayores densidades se observaron en las estaciones 1 y 2 para *Navicula*, presente en las estaciones 1, 2 y 3.

3.6.2. Macroinvertebrados – Tributarios priorizados

3.6.2.1. Quebrada PTAR

En la quebrada PTAR se realizó muestreo en dos estaciones, en la estación 1 se muestrearon ambas orillas del cauce, mientras que en la estación 2 para la campaña

2 no se realizó el muestreo en la orilla izquierda, debido a la dificultad de acceso para tomar la muestra. A continuación, se presentan las abundancias por taxa de las estaciones de muestreo.

Tabla 34. Abundancia por taxa de macroinvertebrados en cada estación de monitoreo de la Quebrada PTAR.

Estación	QPTAR_E1_OD		QPTAR_E1_OI		QPTAR_E1_X		QPTAR_E2_OI		QPTAR_E2_OD		QPTAR_E2_X	
	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
Campana	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
Chironomidae	14	120	7	48	40	133	4	267	N/A	294	N/A	34
Naididae	34	0	2	0	44	0	0	0	N/A	0	N/A	0
Hydropsychidae	1	0	0	0	1	1	0	0	N/A	0	N/A	0
Simuliidae	0	19	0	1	2	22	0	0	N/A	0	N/A	0
Tubificidae	5	0	0	4	0	0	4	0	N/A	0	N/A	0
Pupa Chironomidae	0	0	0	0	2	0	1	0	N/A	0	N/A	0
Psychodidae	0	0	0	0	1	0	1	1	N/A	0	N/A	0
Ceratopogonidae	0	7	0	0	0	1	0	2	N/A	0	N/A	0
Acanthodrilidae	0	11	0	7	0	22	0	97	N/A	82	N/A	21
physidae	0	0	0	0	0	0	0	2	N/A	0	N/A	0
T3 desconocido	0	0	0	0	0	0	0	0	N/A	1	N/A	1

Nota: **OI**: se refiere a la orilla izquierda. **OD**: orilla derecha **X**: se refiere a muestreo de tipo cualitativo

Adicionalmente, se realizó cálculo de los índices de riqueza taxonómica, Diversidad de Shannon, Dominancia de Simpson y Equidad de Pielou. En la Tabla 35 se presentan los resultados de los índices de bioindicación.

Tabla 35. Índices de bioindicación para las estaciones de la Quebrada PTAR

Estaciones	Riqueza (S)		Shannon (H)		Dominancia (D)		Pielou (J)	
	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
Campana	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
QPTAR_E1_OD	3,00	4,00	0,69	0,39	0,43	0,78	0,62	0,54
QPTAR_E1_OI	3,00	4,00	0,99	0,34	0,60	0,67	0,90	0,4

Estaciones	Riqueza (S)		Shannon (H)		Dominancia (D)		Pielou (J)	
	0,00	3,00	0,00	0,34	0,00	0,54	0,00	0,37
QPTAR_E2_OD	0,00	3,00	0,00	0,34	0,00	0,54	0,00	0,37
QPTAR_E2_OI	3,00	5,00	0,943	0,4	0,58	0,65	0,85	0,45

Nota: **OI**: se refiere a la orilla izquierda. **OD**: orilla derecha **X**: se refiere a muestreo de tipo cualitativo

La quebrada PTAR muestra una riqueza taxonómica de entre 3 y 5 taxones en las orillas muestreadas, con la mayor riqueza en la estación 1 (4 taxones en ambas orillas). Ninguna estación alcanza un índice de Shannon superior a 1, lo que indica baja diversidad. El índice de dominancia es más alto en la estación QPTAR_E2_OI (0,4073), mientras que el índice de equidad de Pielou es mayor en QPTAR_E1_OI. Estos resultados reflejan la alta abundancia de las especies *Chironomidae* y *Acanthodrilidae*, con una distribución más uniforme para el resto de las especies.

3.6.2.2. Río Calima

Para la toma de muestras de macroinvertebrados se realizó el procedimiento tanto en la orilla derecha como la izquierda de acuerdo con el cauce del río, sin embargo, para la campaña 2 en las estaciones 1 y 4, no fue posible hacer toma de muestra en la orilla derecha debido a la dificultad de acceso por la corriente que presentaron estos puntos el día de la toma de muestras. A continuación, se presentan las abundancias por taxa de las estaciones de muestreo.

Tabla 36. Abundancia por taxa en cada estación de monitoreo en Río Calima para ambas campañas de monitoreo

Estación	RC_E 1_OI		RC_E1_OD		RC_E 1_X		RC_E2_OD		RC_E 2_OI		RC_E2_X		RC_E3_OD		RC_E3_OI		RC_E3_X		RC_E4_OI		RC_E4_X	
	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
Campaña	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
Chironomidae	1	7	N/A	3	2	17	1	2	1	7	0	0	0	2	0	0	0	18	15	3	0	0
Hydropsychidae	1	5	N/A	0	2	19	2	3	0	6	3	18	14	25	14	0	3	17	0	0	0	1
Simuliidae	1	0	N/A	0	8	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	3	2	0	0	0	0
Ptilodactylidae	0	0	N/A	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Elmidae	1	2	N/A	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	3	0	1	0	1
Leptophlebiidae	4	9	N/A	3	18	21	2	0	3	4	2	3	8	11	0	2	3	10	0	0	2	1
Tricorythidae	0	0	N/A	0	17	11	0	1	0	6	3	5	0	20	0	5	7	33	0	0	0	1
Naucoridae	0	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Pupa Chironomidae	0	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Psychodidae	0	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Baetidae	1	7	N/A	3	5	44	0	2	1	8	0	0	4	8	14	3	2	33	0	5	0	0
Ceratopogonidae	0	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	0
Gomphidae	1	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Perliidae	0	0	N/A	0	1	0	0	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Blepharoceridae	0	0	N/A	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Glossosomatidae	0	0	N/A	0	28	11	0	0	0	0	9	0	0	2	0	6	0	3	0	0	0	0
Dugesidae	0	0	N/A	0	8	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Estación	RC_E 1_OI		RC_E1_OD		RC_E 1_X		RC_E2_OD		RC_E 2_OI		RC_E2_X		RC_E3_OD		RC_E3_OI		RC_E3_X		RC_E4_OI		RC_E4_X	
	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
Campaña	0	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ptininae	0	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Empididae	0	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Hydrophilidae	0	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0
por confirmar	0	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
T11 desconocido	0	0	N/A	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Veliidae	0	0	N/A	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leptoceridae	0	3	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubificidae	0	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	18
Hydracarina	0	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Psephenidae	0	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
Hydropsyche	0	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Polycentropodidae	0	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Mesoveliidae	0	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Tipulidae	0	0	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Coleoterygidae	0	1	N/A	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Libellulidae	0	1	N/A	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2

Nota: **OI**: se refiere a la orilla izquierda. **OD**: orilla derecha **X**: se refiere a muestreo de tipo cualitativo

Adicionalmente, se realizó cálculo de los índices de riqueza taxonómica, Diversidad de Shannon, Dominancia de Simpson y Equidad de Pielou. En la Tabla 37 se presentan los resultados de los índices de bioindicación.

Tabla 37. Índices de bioindicación para las estaciones del río Calima

Estaciones	Riqueza (S)		Shannon (H)		Dominancia (D)		Pielou (J)	
	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
Campana	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
RC_E1_OI	7	8	1,748	1,848	0,78	0,821	0,898	0,889
RC_E1_OD	N/A	4	N/A	1,314	N/A	0,72	N/A	0,948
RC_E2_OD	3	6	1,054	1,705	0,64	0,806	0,96	0,951
RC_E2_OI	4	7	1,277	1,8	0,693	0,822	0,921	0,925
RC_E3_OD	5	10	1,22	1,751	0,645	0,776	0,758	0,76
RC_E3_OI	2	5	0,693	1,452	0,5	0,74	1	0,902
RC_E4_OI	3	4	1,098	1,168	0,666	0,64	1	0,843
RC_E4_OD	N/A	0	N/A	-	N/A	-	N/A	-

Nota: **OI**: se refiere a la orilla izquierda. **OD**: orilla derecha **X**: se refiere a muestreo de tipo cualitativo

3.6.2.3. Quebrada San José

En la quebrada San José se realizó muestreo en 4 estaciones, la estación 1 corresponde a las más cercana a la zona de curso alto, las estaciones 2 y 3 corresponden a zonas de la quebrada del curso medio y la estación 4 es la más próxima a la zona de desembocadura al embalse Calima. En cada estación se realizó muestreo cuantitativo en la orilla derecha e izquierda, en la Tabla 38 se presentan las abundancias por taxa.

Tabla 38. Abundancias por Taxa

Estación	QSJ_E1_OD		QSJ_E1_OI		QSJ_E1_X		QSJ_E2_OD		QSJ_E2_OI		QSJ_E2_X		QSJ_E3_OD		QSJ_E3_OI		QSJ_E3_X		QSJ_E4_OD		QSJ_E4_OI		QSJ_E4-X	
	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
Campaña	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
<i>Chironomidae</i>	0	9	2	3	7	0	53	479	16	116	208	517	66	163	39	100	272	132	55	83	3	122	53	111
<i>Naididae</i>	0	0	1	0	4	0	3	0	0	0	9	0	3	0	17	0	39	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hydropsychidae</i>	6	10	1	8	29	5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
<i>Simuliidae</i>	1	0	0	0	2	0	0	4	1	3	0	0	0	0	0	0	7	0	9	20	0	34	3	31
<i>Ptilodactylidae</i>	1	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Elmidae</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Leptophlebiidae</i>	2	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Estación	QSJ_E1_OD		QSJ_E1_OI		QSJ_E1_X		QSJ_E2_OD		QSJ_E2_OI		QSJ_E2_X		QSJ_E3_OD		QSJ_E3_OI		QSJ_E3_X		QSJ_E4_OD		QSJ_E4_OI		QSJ_E4-X	
	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
<i>Tipulidae</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tricorythidae</i>	0	0	1	0	9	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	5	0	4	4	0	6	1	10
<i>Naucoridae</i>	0	2	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Calopterygidae</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tubificidae</i>	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pupa Chironomidae</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	8	0	15	0	22	0	38	0	5	0	0	0	1	0
<i>Coleoterygidae</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Psychodidae</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Physidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	1

Estación	QSJ_E1_OD		QSJ_E1_OI		QSJ_E1_X		QSJ_E2_OD		QSJ_E2_OI		QSJ_E2_X		QSJ_E3_OD		QSJ_E3_OI		QSJ_E3_X		QSJ_E4_OD		QSJ_E4_OI		QSJ_E4-X	
	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
<i>Baetidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	8	0	12	0	0	2	7	0	
<i>Glossiphoniidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Veliidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Ceratopogonidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
<i>T1 desconodido</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Oligoneuriidae</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Muscidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
<i>Acanthodrilidae (haplotaxida)</i>	0	0	0	0	0	0	0	12	0	49	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	31	0	0	
<i>Hydrobiidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	

Estación	QSJ_E1_OD		QSJ_E1_OI		QSJ_E1_X		QSJ_E2_OD		QSJ_E2_OI		QSJ_E2_X		QSJ_E3_OD		QSJ_E3_OI		QSJ_E3_X		QSJ_E4_OD		QSJ_E4_OI		QSJ_E4-X	
	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
<i>Campaña</i>																								
<i>Haplotaixida</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	13	0	0	0	0	0	0	0
<i>Libelluidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Curculionidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Nota: **OI**: se refiere a la orilla izquierda. **OD**: orilla derecha **X**: se refiere a muestreo de tipo cualitativo

Adicionalmente, se realizó cálculo de los índices de riqueza taxonómica, Diversidad de Shannon, Dominancia de Simpson y Equidad de Pielou. En la Tabla 38 se presentan los resultados de los índices de bioindicación.

Tabla 39. índices de bioindicación para las estaciones de la Quebrada San José

Estaciones	Riqueza (S)		Shannon (H)		Dominancia (D)		Pielou (J)	
	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
Campaña	C2	C3	C2	C3	C2	C3	C2	C3
QSJ_E1_OD	6	3	1,474	0,9404	0,694	0,5805	0,822	0,856
QSJ_E1_OI	5	2	1,494	0,586	0,75	0,3967	0,928	0,8454
QSJ_E2_OD	5	5	0,455	0,222	0,19	0,0815	0,283	0,138
QSJ_E2_OI	3	3	0,409	0,687	0,194	0,4379	0,373	0,6253
QSJ_E3_OD	4	3	0,36	0,1019	0,149	0,0356	0,26	0,0928
QSJ_E3_OI	4	2	0,645	0,0965	0,373	0,0384	0,466	0,1392
QSJ_E4_OD	4	5	0,91	0,7586	0,473	0,3959	0,657	0,4713
QSJ_E4_OI	1	6	0	1,1071	0	0,5651	0	0,6179

En la segunda campaña de monitoreo en la quebrada San José, la mayor riqueza de taxones se observó en la estación 1, con 11 taxones en total, mientras que las estaciones 2 y 3 tuvieron 8 taxones, y la estación 4 contó con 5 especies. El índice de Shannon fue más alto en la estación 1 (1,474 y 1,494 en la orilla derecha e izquierda), mientras que las demás estaciones tuvieron valores inferiores a 0,645, indicando baja diversidad. El índice de dominancia fue mayor en la estación 1 y más bajo en las otras estaciones. El índice de Pielou, que mide la uniformidad de las abundancias, fue más alto en las estaciones 1 y 4, lo que sugiere una mayor uniformidad en estas zonas.

En la tercera campaña, la mayor riqueza se registró en la estación 4. El índice de Shannon fue inferior a 1 en todas las estaciones, excepto en QSJ-E4-OI, donde

alcanzó su valor más alto (1,1071), confirmando nuevamente baja diversidad. El índice de Dominancia de Simpson fue inferior a 0,58, con valores más altos en QSJ-E1-OD y QSJ-E4-OI. La equidad fue mayor en la estación 1, seguida de la estación 4, mientras que las estaciones 2 y 3 mostraron una mayor dominancia de una especie, aunque con una distribución relativamente uniforme de los demás individuos.

3.7. Índices de calidad y contaminación

3.7.1. Índice de calidad del agua.

El índice de calidad de agua (ICA), es una medida que evalúa el grado de calidad de un cuerpo de agua, a partir de algunos parámetros que determinan la idoneidad de éste para diferentes usos. Este índice tiene en cuenta diversos parámetros fisicoquímicos de calidad de agua como la concentración de oxígeno disuelto (% saturación), los sólidos suspendidos totales (SST), la demanda química de oxígeno, (DQO), la conductividad eléctrica (CE) y el valor del potencial de hidrógeno (pH) de cada uno de los cuerpos estudiados (IDEAM, s.f.). Esto, con el fin de evaluar la calidad del agua para los diferentes usos asociados, dándole un valor de 0,00 hasta 1,00, los cuales determinan una señal de alerta según el grado de contaminación del cuerpo de agua.

Tabla 40. Calificación de la calidad del agua según el ICA.- IDEAM

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00-0,25	Muy mala	
0,26-0,50	Mala	
0,51-0,70	Regular	
0,71-0,90	Aceptable	
0,91-1,00	Buena	

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan la categorización del valor del ICA para el embalse Calima en las cuatro (4) campañas de monitoreo para cada una de las seis (6) estaciones estudiadas, contemplando que los resultados presentan para la mayoría de los puntos un índice de calidad “bueno”, exceptuando los valores de 0,83, 0,89, 0,89 y 0,79, para Centro de embalse Campaña uno (1), Entrada 4-5 Campaña dos (2), Puerto Buga Campaña tres (3) y Cola embalse Campaña cuatro (4); respectivamente, los cuales indican un índice de calidad “aceptable”.

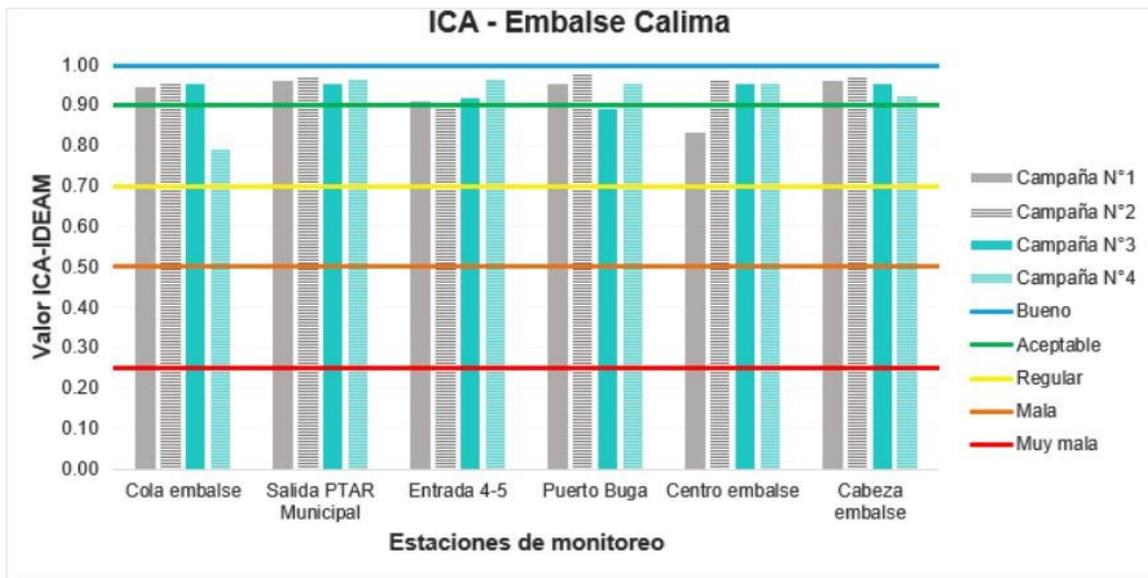


Figura 32. ICA IDEAM - para las estaciones de monitoreo en el Embalse Calima para las 4 campañas de monitoreo

Para río Calima se presenta un índice de calidad considerado como “bueno” para todas las estaciones evaluadas, exceptuando el punto “Antes de embalse” en la campaña uno (1) que presenta una calidad de agua “aceptable” (Figura 33).

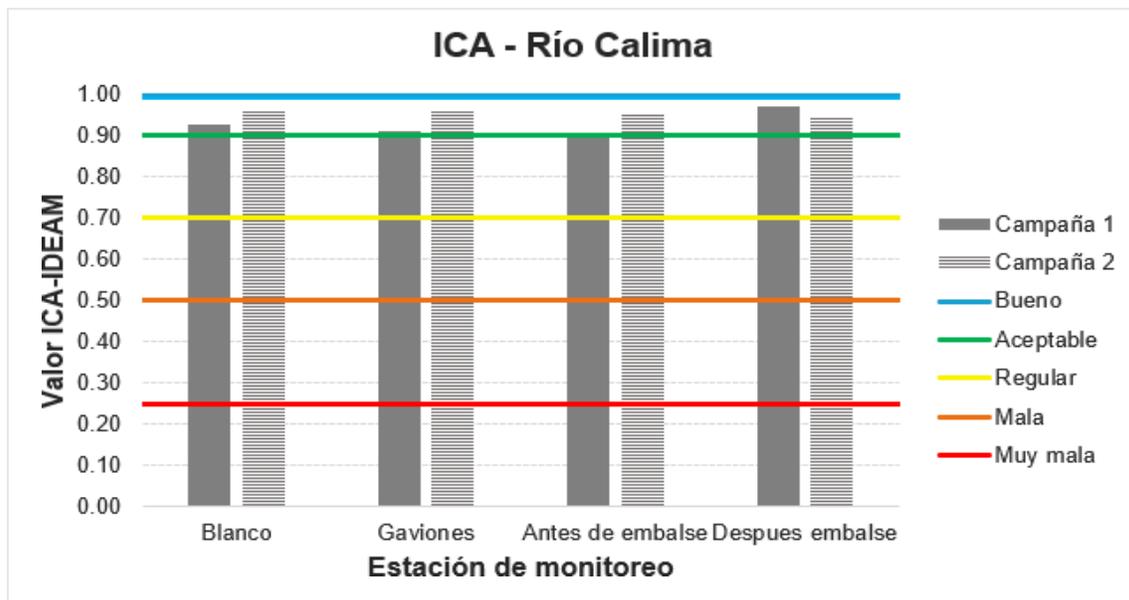


Figura 33. ICA IDEAM - para los sitios de muestreo en el río Calima en las dos campañas de monitoreo

Para el tributario de la quebrada San José se presenta una calidad de agua entre “buena” y “aceptable” en casi todas las estaciones evaluadas en las dos (2)

campañas de monitoreo, sin embargo, para los puntos aguas abajo como lo es la estación “San José-Pueblo” y “Antes Sinai”, los valores están entre un índice de calidad “regular” y “aceptable” como se evidencia en la Figura 34.

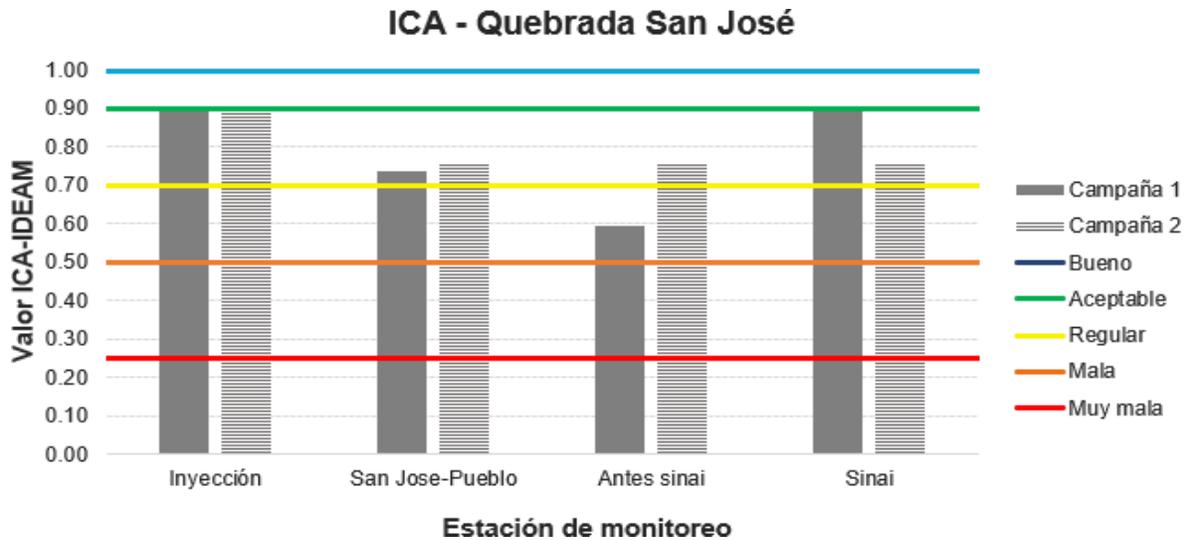


Figura 34. ICA IDEAM - para los sitios de muestreo en la quebrada San José en las dos campañas de monitoreo.

Para la quebrada PTAR, se presentan dos puntos: antes y después de la planta de tratamiento de agua residual municipal (Figura 4). Para el punto “Antes PTAR”, se presenta un índice con una calificación como fuente de agua “buena”, sin embargo, para el punto “Después PTAR” se considera ya un índice de calidad “malo” y “regular” para la campaña uno (1) y dos (2) respectivamente.

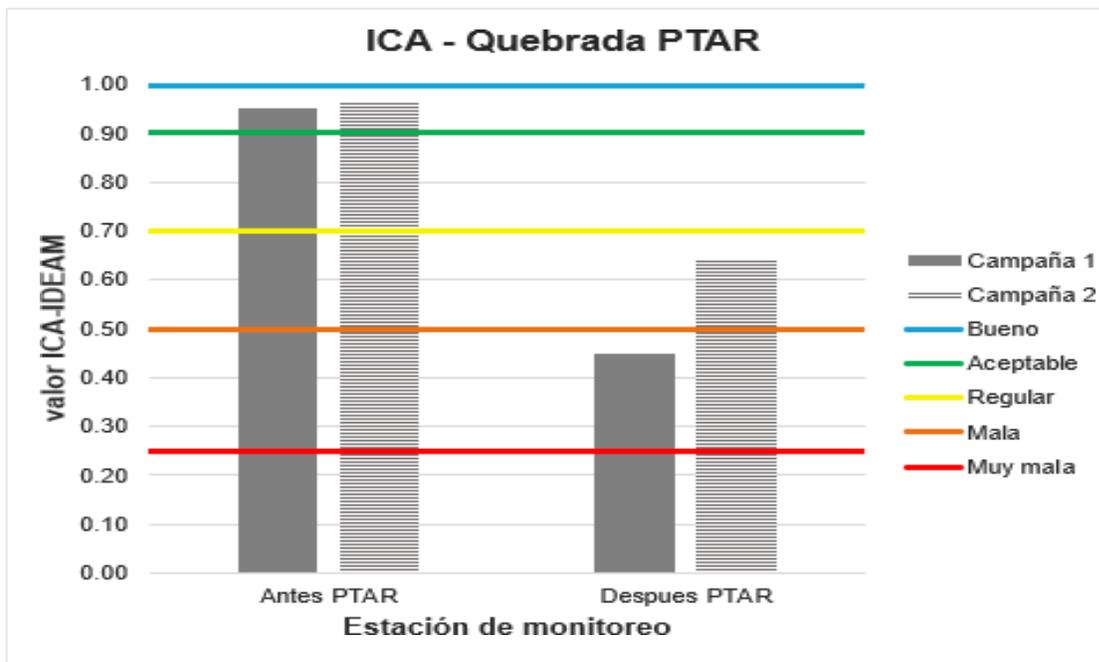


Figura 35. ICA IDEAM - para los sitios de muestreo en la quebrada PTAR en las dos campañas de monitoreo.

3.7.2. Índice de contaminación por materia orgánica

El ICOMO se calcula utilizando variables fisicoquímicas como la DBO₅, los coliformes totales y el porcentaje de saturación de oxígeno, las cuales reflejan la contaminación por materia orgánica. La Tabla 41 clasifica la calidad del agua según el ICOMO, donde el color rojo indica agua muy contaminada y el azul representa agua con menor carga orgánica.

Tabla 41. Calificación de la calidad del agua según el ICOMO.

Valor de los ICOs	Caracterización	Clasificación de la contaminación	Leyenda
0,8 – 1,0	Áreas muy contaminadas	Contaminación muy alta	Rojo
0,6 – 0,8	Incidencia importante de contaminación	Contaminación alta	Naranja
0,4 – 0,6	Notable actividad antrópica	Contaminación media	Amarillo
0,2 – 0,4	Con leve incidencia antrópica	Contaminación baja	Verde
0,0 – 0,2	Aguas puras y quizá con aportes biogénicos	Contaminación ninguna	Azul

Teniendo en cuenta lo anterior, se usa esta categorización para el embalse Calima obteniendo principalmente datos de aguas consideradas con casi nulos niveles biogénicos o de materia orgánica (BAJA). Dichos valores se presentan en seis (6)

puntos monitoreados así: tres (3) puntos en Cola embalse, dos (2) puntos en Salida PTAR y en un (1) punto en Entrada 4-5, los cuales obtuvieron valores entre 0,2 y 0,4, esto indica una contaminación baja, con leves interferencias antrópicas.

Figura 36. ICOMO - para los sitios de muestreo en el Embalse Calima en las cuatro campañas

Igualmente, para los tributarios, se realiza el índice, obteniendo para el río Calima un ICOMO oscilante en resultados, alcanzando un sistema con baja carga orgánica o casi nula en ambas campañas, como se evidencia en la Figura 37.

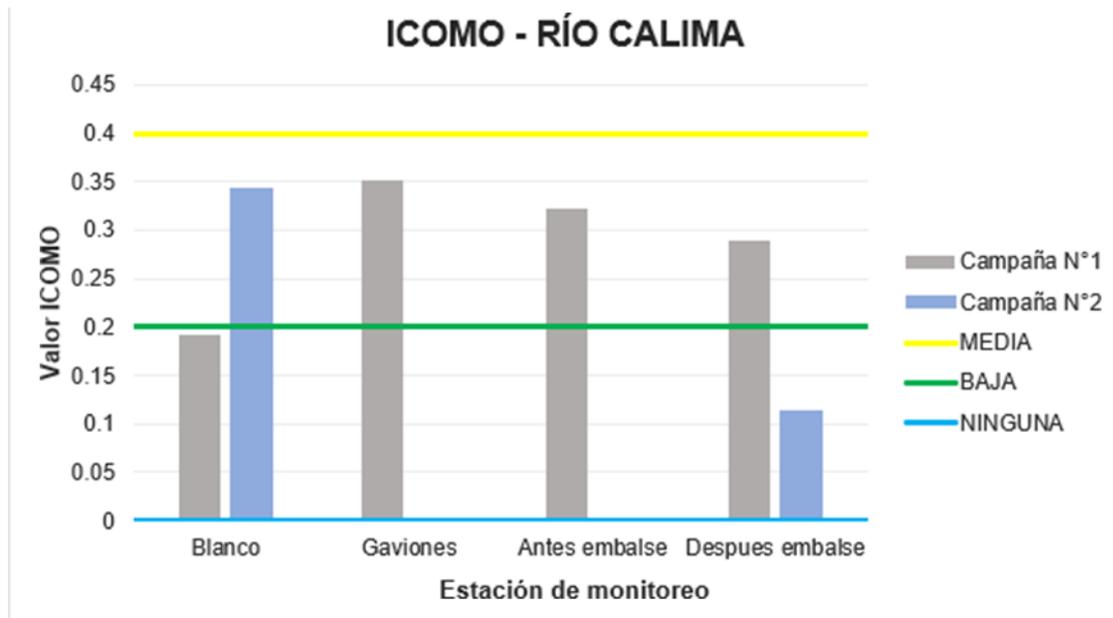


Figura 37. ICOMO - para los sitios de muestreo en río Calima en las dos campañas

Para la quebrada San José, se presenta áreas de mayor contaminación en las estaciones “Pueblo” y “Antes Sinai”, las cuales se categorizan con “media” y “alta” contaminación, sin embargo, para las otras dos (2) estaciones (Inyección y Después Sinai), se presentan valores ya con menos carga orgánica, es decir, con índices de clasificación como “contaminación media y baja” (Figura 38).

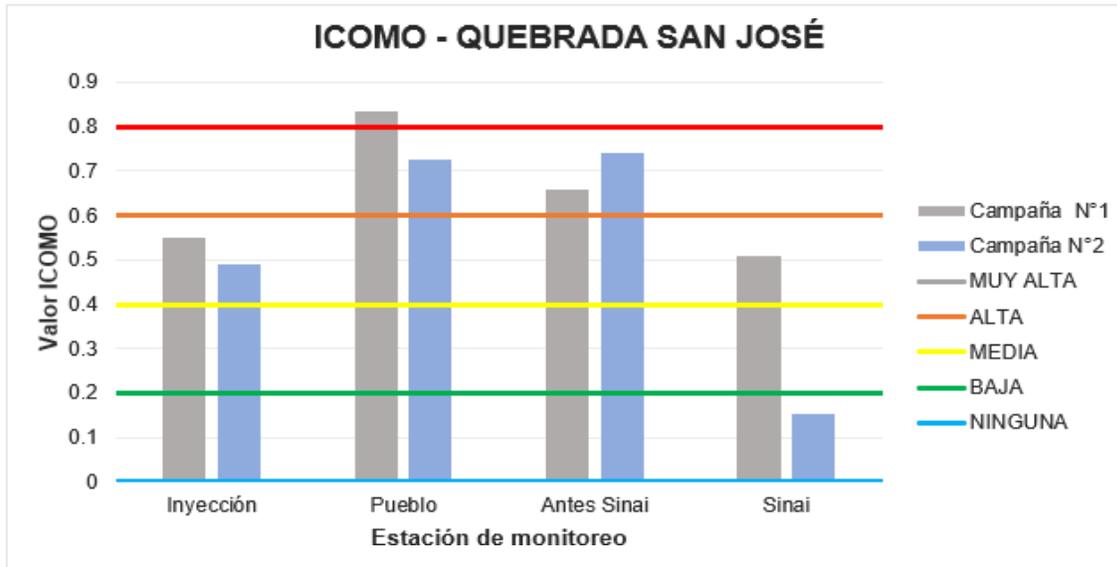


Figura 38. ICOMO - para los sitios de muestreo en la quebrada San José.

Finalmente, para la quebrada PTAR, se presentan índices de ICOMO para una clasificación de un nivel “moderado” a “alto” de contaminación, debido a las características asociadas a las descargas de la PTAR.

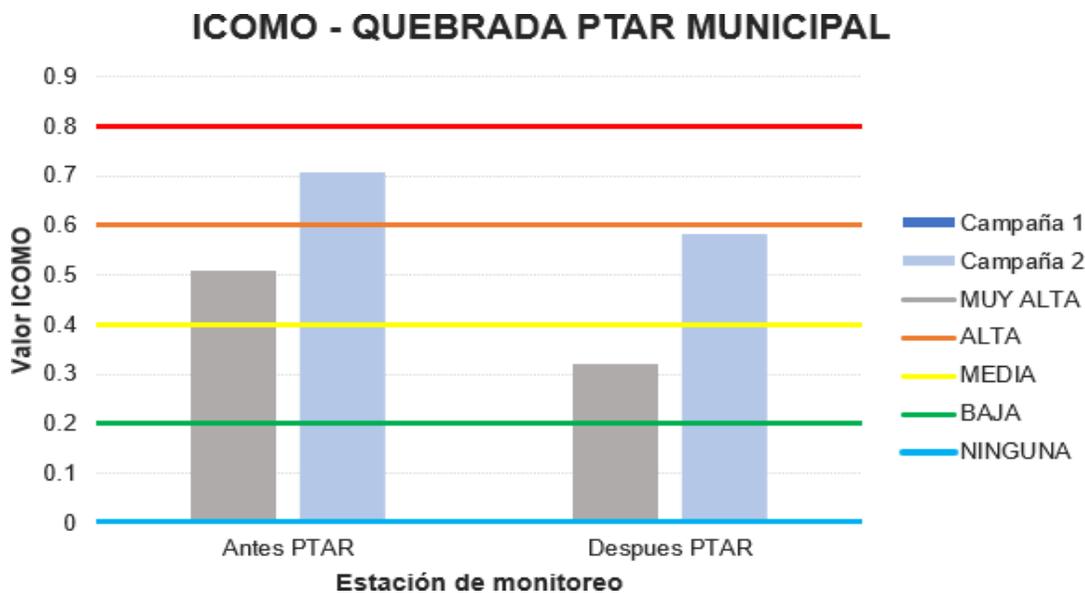


Figura 39. ICOMO - para los sitios de muestreo en la quebrada asociada la PTAR

3.7.3. Índice de contaminación por trofia

Este índice (ICOTRO) tiene como objetivo clasificar el sistema según la concentración del fósforo total presente en el cuerpo de agua. El fósforo, como el nitrógeno, es un nutriente esencial para la vida, pero su exceso en el agua puede provocar eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico, para ello entonces se le asignará un valor según su concentración en miligramos por litro (mg/L) como se muestra en la

Tabla 42. Calificación de la calidad del agua según el ICOTRO

Estado trófico	Valor (g/m ³)	Leyenda
Oligotrófico	< 0,01	
Mesotrófico	0,01 – 0,02	
Eutrófico	0,02 – 1	
Hipertrófico	>1	

Para el embalse Calima, se presenta una diversificación del entorno, sin embargo, este presenta niveles desde oligotróficos principalmente para la época seca (Campaña uno (1), y luego pasando a un estado eutrófico para las demás campañas principalmente, esto asociado a la temporalidad y los cambios antrópicos del sistema (Tabla 43).

Tabla 43. ICOTRO - para los sitios de muestreo en el embalse Calima.

INDICE ICOTRO – Embalse				
Estación	Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3	Campaña 4
Cola	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Salida PTAR Municipal	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Eutrófico
Entrada 4-5	Oligotrófico	Oligotrófico	Eutrófico	Oligotrófico
Puerto Buga	Oligotrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
Centro embalse	Oligotrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
Cabeza embalse	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Oligotrófico

Para los tres (3) tributarios, se evidencia según el fósforo total que la mayoría de los cuerpos de agua se caracterizan en un sistema eutrófico (Tabla 12), es decir, estos presentan un alto contenido de nutrientes asociados al fósforo total (mg/L).

INDICE ICOTRO - TRIBUTARIOS			
Tributario	Estación	Campaña 1	Campaña 2
	Punto antes PTAR	Eutrófico	Eutrófico

INDICE ICOTRO - TRIBUTARIOS			
Tributario	Estación	Campaña 1	Campaña 2
Quebrada asociada a la PTAR Municipal	Punto después PTAR	Eutrófico	Eutrófico
Quebrada San José	Antes del pueblo	Eutrófico	Eutrófico
	Pueblo	Eutrófico	Eutrófico
	Antes Sinaí	Eutrófico	Eutrófico
	Sinaí	Eutrófico	Eutrófico
Río Calima	Blanco	Mesotrófico	Eutrófico
	Gaviones	Mesotrófico	Eutrófico
	Antes embalse	Eutrófico	Eutrófico

3.7.4. Índice de calidad del agua – BMWP

El BMWP (Biological Monitoring Working Party) es un índice biológico utilizado para evaluar la calidad del agua basándose en la presencia y diversidad de macroinvertebrados acuáticos. Según Pérez (2003), este índice asigna puntuaciones a diferentes grupos de macroinvertebrados en función de su tolerancia a la contaminación.

Tabla 44. Código de color y puntajes del BMWP

Puntaje BMWP	Calidad del Agua	Código de Color
0 – 10	Muy mala	Rojo
11 – 40	Mala	Naranja
41 – 70	Moderada	Amarillo
71 – 100	Buena	Verde claro
101 -150	Muy buena	Verde oscuro
> 150	Excelente	Azul

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del BMWP para los tres tributarios priorizados en ambas campañas de monitoreo.

Tabla 45. BMWP – Para las estaciones de monitoreo sobre los tributarios priorizados.

Estación	Campaña 3	Campaña 2
	Puntaje BMWP	Puntaje BMWP
QPTAR_E1	26	25
QPTAR_E2	16	10
RC_E1	83	87

Estación	Campaña 3	Campaña 2
	Puntaje BMWP	Puntaje BMWP
RC_E2	72	84
RC_E3	78	41
RC_E4	80	34
QSJ_E1	35	64
QSJ_E2	21	6
QSJ_E3	13	75
QSJ_E4	34	46

Al comparar los resultados de las tres fuentes hídricas, se nota que el río Calima muestra una mejor calidad del agua. Se registran seis casos calificados como "Aceptable", uno como "dudoso" y uno como "crítico". En contraste, la quebrada PTAR presenta la calidad más preocupante del agua, evidenciando niveles críticos, lo que concuerda con el entorno donde se encuentra esta fuente, pues recibe aguas residuales municipales

Adicionalmente se realiza un modelo estadístico canónico de respuesta, con las abundancias de las familias y los resultados de las variables físico química de cada estación, para esto se depura la base de datos, incluyendo solo las variables que cumplan con variabilidad significativa e independencia. En la siguiente tabla se presentan las variables físicas y químicas incluidas y el componente del Análisis de Redundancia (RDA) al que pertenece.

En Figura 40, se presentan las estaciones de muestreo, las variables respuestas y las variables explicativas. La interacción de estas permite tener una interpretación más amplia de los resultados. En primer lugar, se logra identificar que las siguientes estaciones QPTAR-E2-C1, QPTAR_E1-C2, QPTAR_E2-C2, QSJ-E2-C1, QSJ-E3-C1, QSJ-E4-C1, QSJ-E2-C2 responden a concentraciones más elevadas de COT, DBO, DQO, así como las abundancias de las familias *Chironomidae*, *Acanthodrilidae*, *Psychodidae* son mayores ante la presencia de materia orgánica.

Triplot RDA Macroinvertebrados

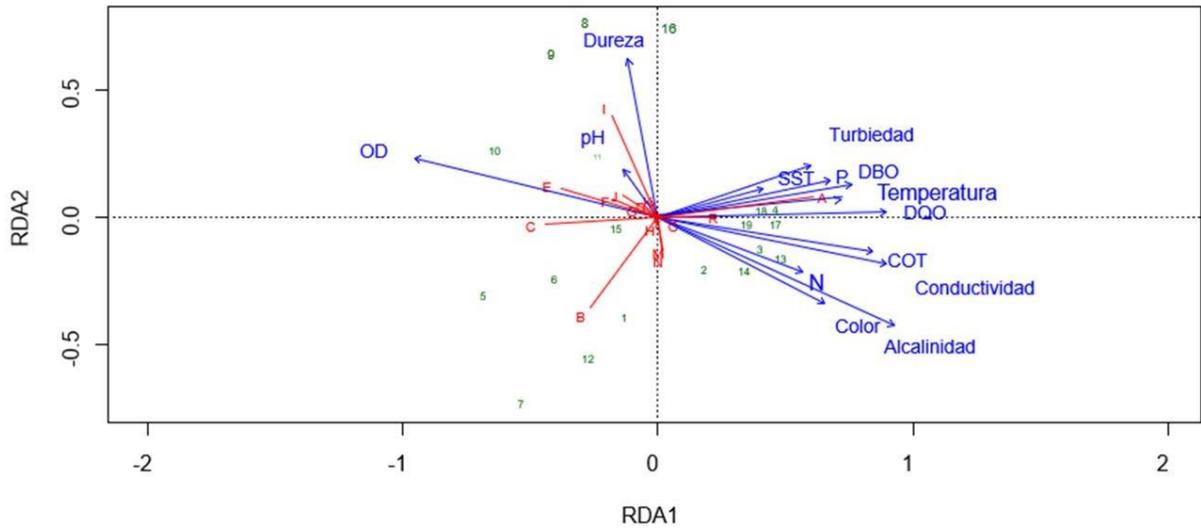


Figura 40. Triplot Macroinvertebrados RDA

La salud de los ecosistemas está estrechamente ligada a los niveles de Oxígeno Disuelto (OD). Los vectores situados en proximidad a los niveles altos de OD indican la presencia predominante de familias que dependen de este parámetro. En este contexto, las familias *Baetidae*, *Leptophlebiidae* y *Elmidae* son las más sensibles a las concentraciones de oxígeno y muestran una respuesta significativa a sus variaciones. Por el contrario, la familia *Chironomidae* es la taxa más cercana a los parámetros relacionados con materia orgánica y la más alejada del oxígeno disuelto, esto sugiere que estos organismos habitan en aguas con baja oxigenación, por ende, se puede inferir que las estaciones cercanas a estas son las que presentan menor concentración de OD y mayores abundancias de *Chironomidae*.

4. Modelación de la calidad del recurso hídrico.

4.1. Definición de la estructura conceptual para la modelación de la calidad del agua

El esquema con la topología correspondiente a las corrientes, para la simulación de calidad del agua por medio del modelo computacional Qual-2K, donde se describen los aportes o extracciones codificadas se presentan en la Figura 41.

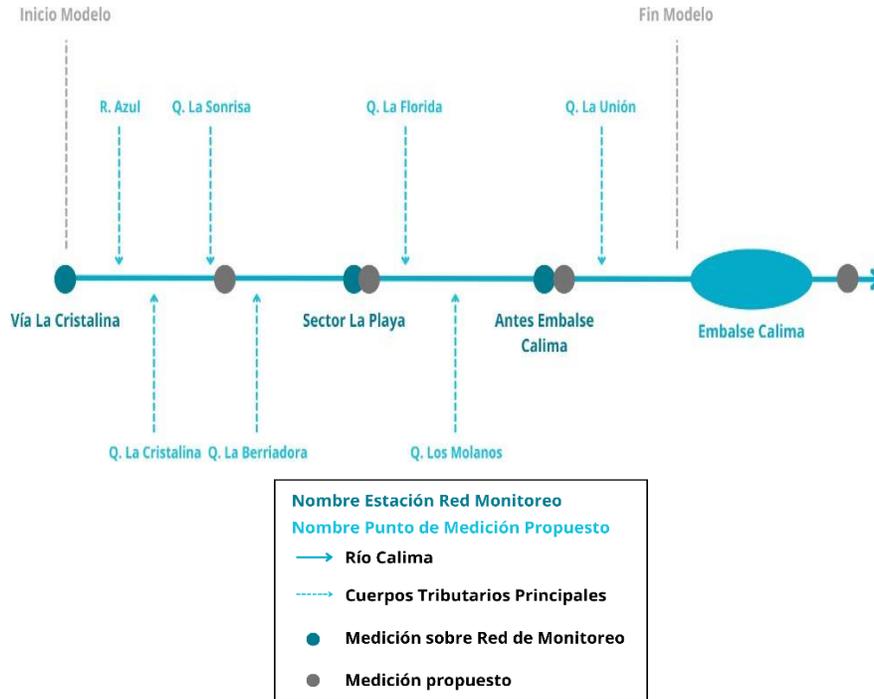


Figura 42. Modelo conceptual del río Calima

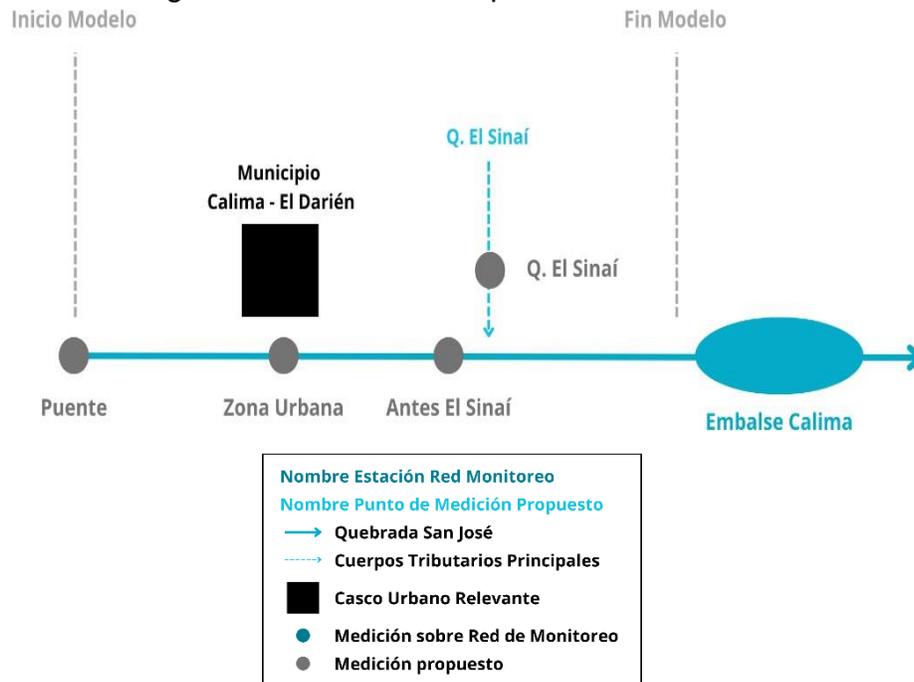


Figura 43. Modelo conceptual de la quebrada San José

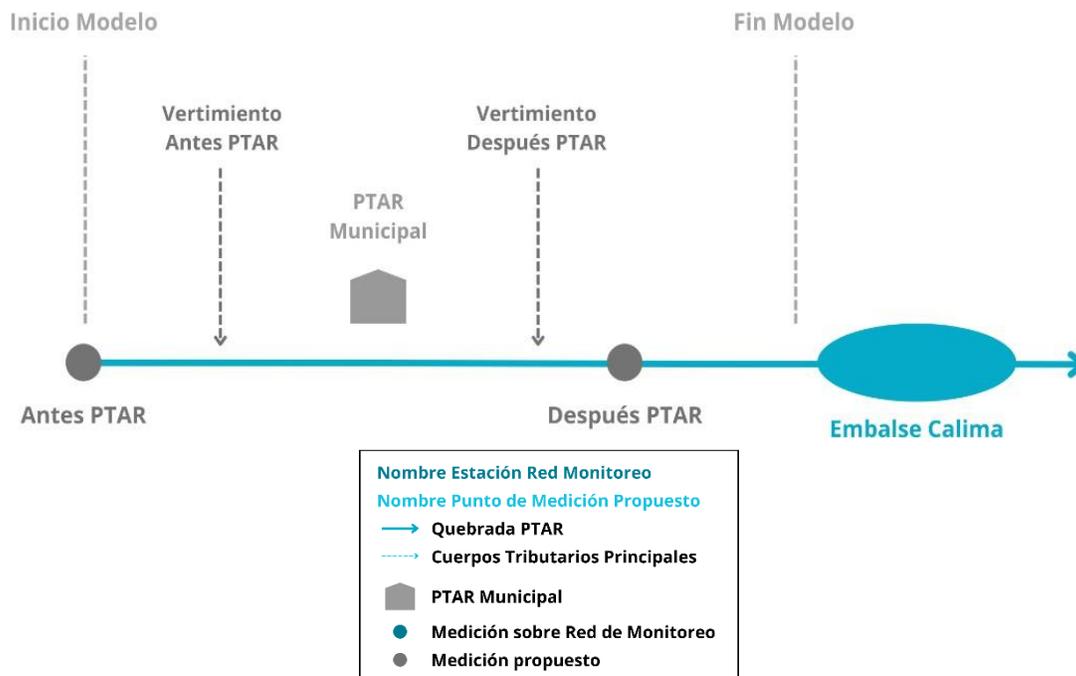


Figura 44. Modelo conceptual de la quebrada PTAR

4.2. Formulación y simulación de escenarios

Para definir objetivos de calidad en las quebradas San José y PTAR, se evaluaron escenarios a corto, mediano y largo plazo, considerando un caudal inicial al 50% del valor observado en la calibración para condiciones críticas. En la quebrada San José, el escenario a corto plazo reduce las cargas difusas en un 10%, a mediano plazo en un 20% con recolección del 80% de aguas residuales, y a largo plazo en un 30% con recolección del 95%.

Para la quebrada PTAR, los escenarios incluyen tratar el 80% del volumen a corto plazo, el 100% a mediano, y a largo plazo con tratamiento terciario que remueve nutrientes y coliformes con un 70% de eficiencia.

Para el río Calima, no se simularon intervenciones ya que su calidad actual es adecuada, al no presentar variabilidad en los datos, esto debido a que esta corriente actualmente no sufre alteraciones importantes en la calidad de su agua, con un Índice de Calidad del Agua (ICA) clasificado como "BUENO".

En la Figura 45 se presentan los resultados de la simulación de escenarios de corto mediano, y largo plazo para la quebrada San José.

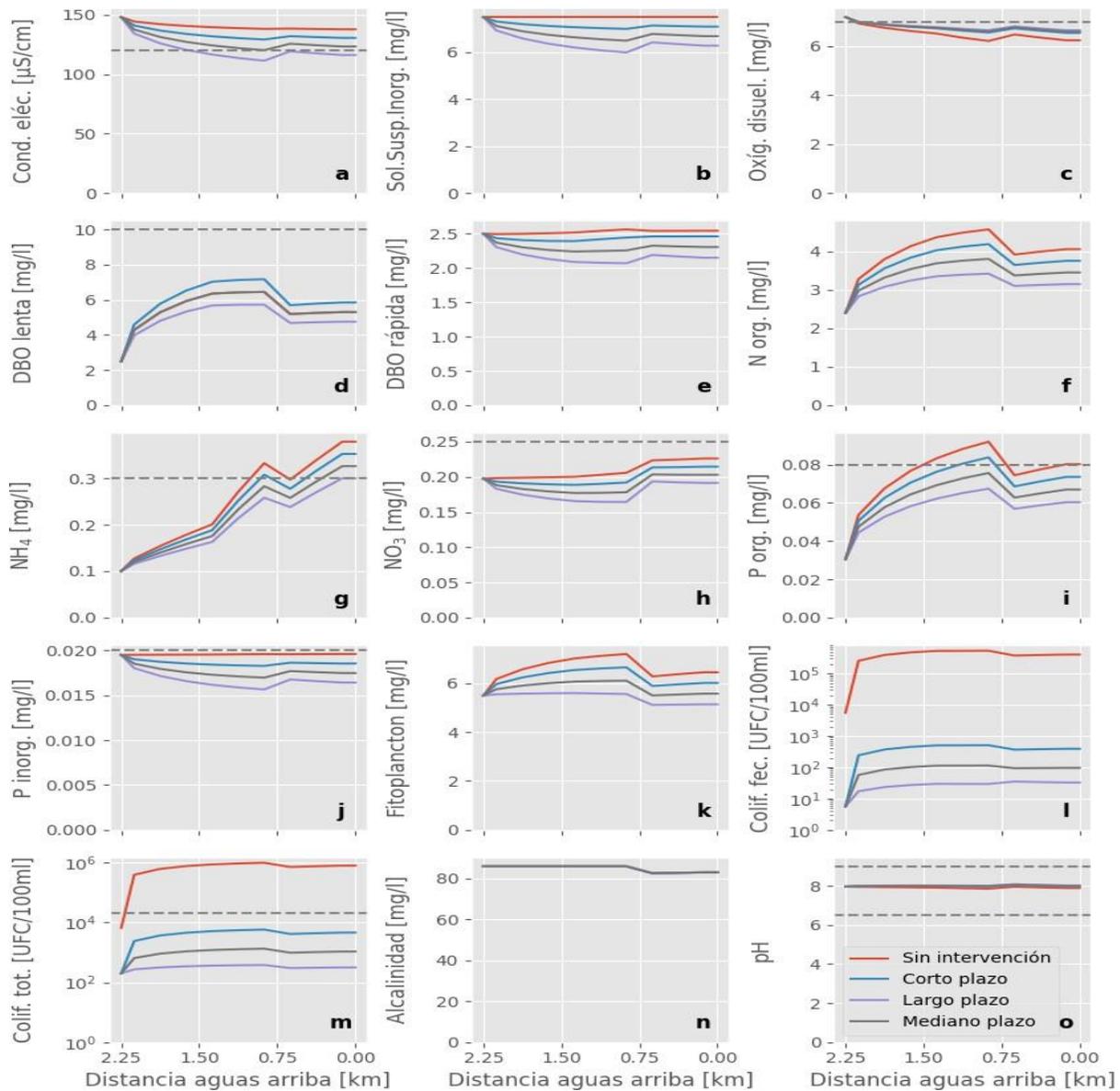


Figura 45. Simulaciones de variables de estado para los escenarios de corto, mediano, y largo plazo en la quebrada San José. (a) Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). (b) Sólidos suspendidos inorgánicos (mg/L). (c) Oxígeno disuelto ($\text{mg O}_2/\text{L}$). (d) DBO lenta ($\text{mg O}_2/\text{L}$). (e) DBO rápida ($\text{mg O}_2/\text{L}$). (f) Nitrógeno orgánico ($\text{mg N}/\text{L}$). (g) Amonio ($\text{mg N}/\text{L}$). (h) Nitratos ($\text{mg N}/\text{L}$). (i) Fósforo orgánico ($\text{mg P}/\text{L}$). (j) Fósforo inorgánico ($\text{mg P}/\text{L}$). (k) Fitoplancton ($\text{mg Cl-A}/\text{L}$). (l) Coliformes totales ($\text{UFC}/100 \text{ mL}$). (m) Coliformes fecales ($\text{UFC}/100 \text{ mL}$). (n) Alcalinidad ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$) (o) pH.

En la Figura 46 se presentan los resultados de la simulación de escenarios de corto mediano, y largo plazo para la quebrada PTAR

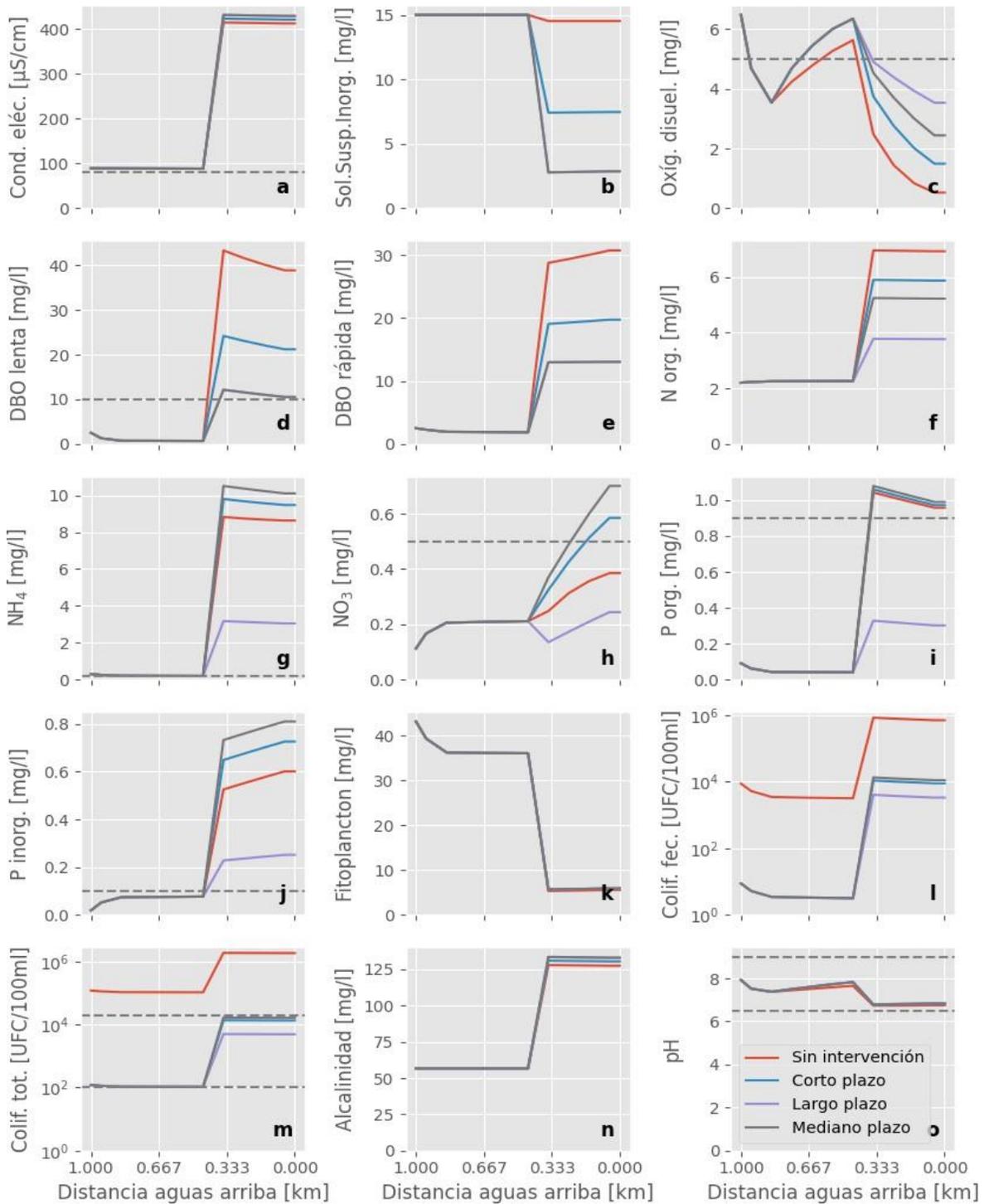


Figura 46. Simulaciones de variables de estado para los escenarios de corto, mediano, y largo plazo en la quebrada PTAR. (a) Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). (b) Sólidos suspendidos inorgánicos (mg/L). (c) Oxígeno disuelto (mg O_2/L). (d) DBO lenta (mg O_2/L). (e) DBO rápida (mg O_2/L). (f) Nitrógeno orgánico (mg N/L). (g) Amonio (mg N/L). (h) Nitratos (mg N/L). (i) Fósforo orgánico (mg P/L). (j) Fósforo inorgánico (mg P/L). (k) Fitoplancton (mg Cl-A/L). (l) Coliformes totales (UFC/100 mL). (m) Coliformes fecales (UFC/100 mL). (n) Alcalinidad (mg CaCO_3/L). (o) pH.

5. Usos actuales y potenciales del recurso hídrico

Para la definición de los usos actuales y potenciales del Embalse Calima, la Corporación sectorizó el embalse en 5 secciones a partir de la información disponible de calidad, actividades y usos asociados a cada sector, en Figura 47 y la Tabla 46, se presentan los sectores del Embalse Calima y su estación de referencia.

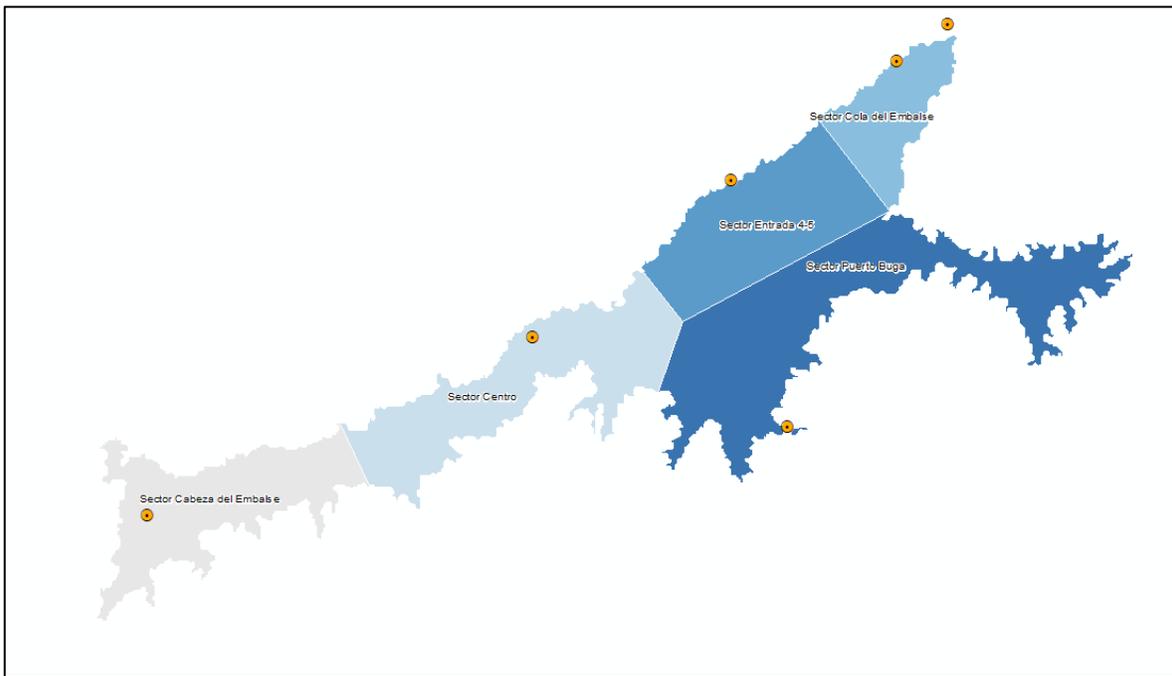


Figura 47. Sectorización del embalse Calima y sus estaciones de referencia

Tabla 46. Sectorización del embalse Calima y sus estaciones de referencia

Sector	Estación de referencia	Longitud (m)	Área (Ha)
Sector Cola del Embalse	Salida PTAR	6,969.13	166.50
Sector Entrada 4-5	Entrada 4 -5	8,907.00	348.78
Sector Puerto Buga	Puerto Buga	30,946.33	594.45
Sector Centro	Centro del embalse	18,535.47	411.61
Sector Cabeza del Embalse	Cabeza del embalse (Presa)	17,354.43	333.22

La Tabla 47 se presentan los usos actuales y potenciales para cada uno de los tributarios con sus respectivos tramos.

Tabla 47. Usos actuales y potenciales de los tramos y/o estaciones de los cuerpos de agua

Cuerpo de agua	Tramo	Descripción	Coordenadas*				Usos actuales	Usos Potenciales
			Inicio		Final			
			Latitud (N)	Longitud (W)	Latitud (N)	Longitud (W)		
Río Calima	I	Desde: Punto de control Hasta: Puente Gaviones	1.998.536	4.616.709	1.997.056	4.615.935	Preservación de flora y fauna - Agrícola - Pecuario - Estético - Recreativo - Pesca y Acuicultura	Preservación de flora y fauna - Agrícola - Pecuario - Estético - Recreativo - Pesca y Acuicultura
	II	Desde: Puente Gaviones Hasta: Puente La Primavera	1.997.056	4.615.935	1.994.544	4.615.714	Agrícola - Estético - Recreativo - Pesca y Acuicultura	Preservación de flora y fauna - Agrícola - Pecuario - Estético - Recreativo - Pesca y Acuicultura
	III	Desde: Puente La Primavera Hasta: Embalse	1.994.544	4.615.714	1.992.572	4.615.013	Estético - Recreativo - Pesca y Acuicultura	Preservación de flora y fauna - Estético - Recreativo - Pesca y Acuicultura
Quebrada San José	I	Desde: Antes del casco urbano Hasta: Pueblo	1.994.225	4.612.811	1.993.203	4.613.496	Agrícola - Doméstico - Estético	Preservación de flora y fauna - Agrícola - Estético
	II	Desde: Pueblo Hasta: Embalse Calima	1.993.203	4.613.496	1.991.690	4.613.756	Agrícola - Pecuario - Estético	Preservación de flora y fauna - Agrícola - Estético - Pecuario

Cuerpo de agua	Tramo	Descripción	Coordenadas*				Usos actuales	Usos Potenciales
			Inicio		Final			
			Latitud (N)	Longitud (W)	Latitud (N)	Longitud (W)		
Quebrada PTAR	I	Desde: Punto de control Hasta: Antes de la descarga de la PTAR	1.993.046	4.613.806	1.992.593	4.614.376	Estético - Agrícola - Pecuario	Estético - Agrícola - Pecuario
	II	Desde: Antes de la descarga de la PTAR Hasta: Embalse Calima	1.992.593	4.614.376	1.992.341	4.614.583	Estético	Preservación de flora y fauna - Estético

Nota: * Coordenadas en sistema de referencia Origen Nacional

En la Tabla 48 se presentan los usos actuales y potenciales para cada uno de los sectores del embalse Calima con su respectiva estación de referencia.

Tabla 48. Usos actuales y potenciales de los sectores del embalse Calima

Sector	Estación de referencia	Usos actuales	Usos potenciales
Cola del Embalse	Salida PTAR	Preservación de flora y fauna - Estético - Navegación y transporte acuático - Pesca - Generación de energía	Preservación de flora y fauna - Navegación y transporte acuático - Pesca - Generación de energía
Entrada 4-5	Entrada 4 -5	Preservación de flora y fauna - Estético - Navegación y transporte acuático - Pesca - Generación de energía	Preservación de flora y fauna - Estético - Navegación y transporte acuático - Pesca - Generación de energía
Puerto Buga	Puerto Buga	Preservación de flora y fauna - Estético - Recreativo - Navegación y transporte acuático - Pesca - Generación de energía	Preservación de flora y fauna - Estético - Recreativo - Navegación y transporte acuático - Pesca - Generación de energía
Centro	Centro del embalse	Preservación de flora y fauna - Estético - Navegación y transporte acuático - Pesca - Generación de energía	Preservación de flora y fauna - Estético - Navegación y transporte acuático - Pesca - Generación de energía
Cabeza del Embalse	Cabeza del embalse (Presa)	Preservación de flora y fauna - Estético - Recreativo - Navegación y transporte acuático - Pesca - Generación de energía	Preservación de flora y fauna - Estético - Recreativo - Navegación y transporte acuático - Pesca - Generación de energía



6. Definición de objetivos y criterios de calidad por usos

De acuerdo con los resultados de las campañas de monitoreo, la modelación de calidad del agua, los escenarios expuestos anteriormente y los usos actuales y potenciales identificados, se establecieron los criterios de calidad necesarios para que se pueda lograr el sostenimiento de calidad del agua para los usos definidos.

De este modo, las estrategias a implementar se ajustaron a las necesidades del cumplimiento de los criterios de calidad expuestos en la Tabla 50 para los tributarios priorizados y en la Tabla 49 para el embalse Calima.

Tabla 50. Usos y criterios de calidad para el río Calima, la quebrada San José y la quebrada PTAR

Cuerpo de agua	Tramo	Descripción	Usos Potenciales	Parámetro	Unidades	Tiempo en años		
						Corto	Mediano	Largo
Río Calima	I	Desde: Punto de control Hasta: Puente Gaviones	Preservación de flora y fauna - Agrícola - Pecuario - Estético - Recreativo - Pesca y Acuicultura	pH	UpH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
				OD	mg/l	≥7	≥7	≥7
				Conductividad	ms/cm	≤90	≤70	≤60
				Nitratos	mg/l	≤0,7	≤0,5	≤0,5
				Nitrógeno Amoniacal	mg/l	≤0,3	≤0,3	≤0,3
				Ortofosfatos	mg/l	≤0,1	≤0,1	≤0,1
				Fósforo Total	mg/l	≤0,1	≤0,1	≤0,1
				DBO ₅	mg/l	≤5	≤5	≤5
	Coliformes Totales	NMP/100ml	≤1.000	≤1.000	≤1.000			
	II	Desde: Puente Gaviones Hasta: Puente La Primavera	Preservación de flora y fauna - Agrícola - Pecuario - Estético - Recreativo - Pesca y Acuicultura	pH	UpH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
				OD	mg/l	≥7	≥7	≥7
				Conductividad	ms/cm	≤90	≤70	≤60
				Nitratos	mg/l	≤0,7	≤0,5	≤0,5
				Nitrógeno Amoniacal	mg/l	≤0,3	≤0,3	≤0,3
				Ortofosfatos	mg/l	≤0,1	≤0,1	≤0,1
				Fósforo Total	mg/l	≤0,1	≤0,1	≤0,1
DBO ₅				mg/l	≤5	≤5	≤5	
Coliformes Totales	NMP/100ml	≤1.000	≤1.000	≤1.000				

Cuerpo de agua	Tramo	Descripción	Usos Potenciales	Parámetro	Unidades	Tiempo en años		
						Corto	Mediano	Largo
	III	Desde: Puente La Primavera Hasta: Embalse	Preservación de flora y fauna - Estético - Recreativo - Pesca y Acuicultura	pH	UpH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
				OD	mg/l	≥7	≥7	≥7
				Conductividad	ms/cm	≤90	≤70	≤60
				Nitratos	mg/l	≤0,7	≤0,5	≤0,5
				Nitrógeno Amoniacal	mg/l	≤0,3	≤0,3	≤0,3
				Ortofosfatos	mg/l	≤0,1	≤0,1	≤0,1
				Fósforo Total	mg/l	≤0,1	≤0,1	≤0,1
				DBO ₅	mg/l	≤5	≤5	≤5
				Coliformes Totales	NMP/100ml	≤1.000	≤1.000	≤1.000
Quebrada San José	I	Desde: Antes del casco urbano Hasta: Pueblo	Preservación de flora y fauna - Agrícola - Estético	pH	UpH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
				OD	mg/l	≥7	≥7	≥7
				Conductividad	ms/cm	≤120	≤120	≤120
				Nitratos	mg/l	≤0,7	≤0,5	≤0,25
				Nitrógeno Amoniacal	mg/l	≤0,3	≤0,3	≤0,3
				Ortofosfatos	mg/l	≤0,02	≤0,02	≤0,02
				Fósforo Total	mg/l	≤0,1	≤0,1	≤0,1
				DBO ₅	mg/l	≤10	≤10	≤10
				Coliformes Totales	NMP/100ml	≤45.000	≤30.000	≤6.000

Cuerpo de agua	Tramo	Descripción	Usos Potenciales	Parámetro	Unidades	Tiempo en años		
						Corto	Mediano	Largo
	II	Desde: Pueblo Hasta: Embalse Calima	Preservación de flora y fauna - Agrícola - Estético - Pecuario	pH	UpH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
				OD	mg/l	≥4	≥5	≥6
				Conductividad	ms/cm	≤120	≤100	≤80
				Nitratos	mg/l	≤0,7	≤0,5	≤0,25
				Nitrógeno Amoniacal	mg/l	≤0,3	≤0,3	≤0,3
				Ortofosfatos	mg/l	≤0,02	≤0,02	≤0,02
				Fósforo Total	mg/l	≤0,1	≤0,1	≤0,1
				DBO ₅	mg/l	≤5	≤5	≤5
				Coliformes Totales	NMP/100ml	≤300.000	≤15.000	≤6.000
Quebrada PTAR	I	Desde: Punto de control Hasta: Antes de la descarga de la PTAR	Estético - Agrícola - Pecuario	pH	UpH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
				OD	mg/l	≥6	≥6	≥6
				Conductividad	ms/cm	≤80	≤80	≤80
				Nitratos	mg/l	≤0,5	≤0,5	≤0,5
				Nitrógeno Amoniacal	mg/l	≤0,3	≤0,3	≤0,3
				Ortofosfatos	mg/l	≤0,24	≤0,24	≤0,24
				Fósforo Total	mg/l	≤1	≤1	≤1
				DBO ₅	mg/l	≤5	≤5	≤5
	Coliformes Totales	NMP/100ml	≤5.000	≤5.000	≤5.000			
	II	Desde: Antes de la descarga de la PTAR Hasta: Embalse Calima	Preservación de flora y fauna - Estético	pH	UpH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
OD				mg/l	≥3	≥4	≥4	

Cuerpo de agua	Tramo	Descripción	Usos Potenciales	Parámetro	Unidades	Tiempo en años		
						Corto	Mediano	Largo
				Conductividad	ms/cm	≤300	≤200	≤100
				Nitratos	mg/l	≤1,0	≤0,8	≤0,6
				Nitrógeno Amoniacal	mg/l	≤0,3	≤0,2	≤0,2
				Ortofosfatos	mg/l	≤2,0	≤0,5	≤0,1
				Fósforo Total	mg/l	≤0,8	≤0,5	≤0,1
				DBO ₅	mg/l	≤40	≤30	≤10
				Coliformes Totales	NMP/100ml	≤15.000	≤6.000	≤6.000

Tabla 51. Usos y criterios de calidad para los sectores del embalse Calima

Sector	Estación de referencia	Usos potenciales	Parámetro	Unidades	Tiempo en años		
					Corto	Mediano	Largo
Cola del Embalse	Salida PTAR	Preservación de flora y fauna - Navegación y transporte acuático - Pesca - Generación de energía	pH	UpH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
			OD	mg/l	≥6.5	≥6.5	≥6.5
			Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	≤11,7	≤11,7	≤11,7
			Nitratos	mg/l	≤0,226	≤0,226	≤0,226
			Nitrógeno amoniacal	mg/l	≤0,25	≤0,25	≤0,25
			Ortofosfatos	mg/l	≤0,2	≤0,1	≤0,1
			Fósforo Total	mg/l	≤0,2	≤0,1	≤0,1
			DBO ₅	mg/l	≤5	≤5	≤5
			Coliformes Totales	NMP/100ml	≤1.000	≤1.000	≤1.000
			Clorofila-a específica de cianobacterias	µg/l	≤50	≤30	≤10
		Número de cianobacterias	Cel/ml	≤20.000	≤10.000	≤5.000	

Sector	Estación de referencia	Usos potenciales	Parámetro	Unidades	Tiempo en años		
					Corto	Mediano	Largo
			Cianotoxinas	µg/l	≤0,00001	≤0,00001	≤0,00001
Entrada 4-5	Entrada 4 -5	Preservación de flora y fauna - Estético - Navegación y transporte acuático - Pesca - Generación de energía	pH	UpH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
			OD	mg/l	≥6.5	≥6.5	≥6.5
			Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	≤11,7	≤11,7	≤11,7
			Nitratos	mg/l	≤0,226	≤0,226	≤0,226
			Nitrógeno amoniacal	mg/l	≤0,25	≤0,25	≤0,25
			Ortofosfatos	mg/l	≤0,2	≤0,1	≤0,1
			Fósforo Total	mg/l	≤0,2	≤0,1	≤0,1
			DBO ₅	mg/l	≤5	≤5	≤5
			Coliformes Totales	NMP/100ml	≤5.000	≤5.000	≤5.000
			Clorofila-a específica de cianobacterias	µg/l	≤50	≤30	≤10
			Número de cianobacterias	Cel/ml	≤20.000	≤10.000	≤5.000
			Cianotoxinas	µg/l	≤0,00001	≤0,00001	≤0,00001
Puerto Buga	Puerto Buga	Preservación de flora y fauna - Estético - Recreativo - Navegación y transporte acuático - Pesca - Generación de energía	pH	UpH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
			OD	mg/l	≥6.5	≥6.5	≥6.5
			Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	≤11,7	≤11,7	≤11,7
			Nitratos	mg/l	≤0,226	≤0,226	≤0,226
			Nitrógeno amoniacal	mg/l	≤0,25	≤0,25	≤0,25
			Ortofosfatos	mg/l	≤0,2	≤0,1	≤0,1
			Fósforo Total	mg/l	≤0,2	≤0,1	≤0,1
			DBO ₅	mg/l	≤5	≤5	≤5
			Coliformes Totales	NMP/100ml	≤5.000	≤5.000	≤5.000
			Clorofila-a específica de cianobacterias	µg/l	≤50	≤30	≤10
			Número de cianobacterias	Cel/ml	≤20.000	≤10.000	≤5.000

Sector	Estación de referencia	Usos potenciales	Parámetro	Unidades	Tiempo en años		
					Corto	Mediano	Largo
			Cianotoxinas	µg/l	≤0,00001	≤0,00001	≤0,00001
Centro	Centro del embalse	Preservación de flora y fauna - Estético - Navegación y transporte acuático - Pesca - Generación de energía	pH	UpH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
			OD	mg/l	≥6.5	≥6.5	≥6.5
			Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	≤11,7	≤11,7	≤11,7
			Nitratos	mg/l	≤0,226	≤0,226	≤0,226
			Nitrógeno amoniacal	mg/l	≤0,25	≤0,25	≤0,25
			Ortofosfatos	mg/l	≤0,2	≤0,1	≤0,1
			Fósforo Total	mg/l	≤0,2	≤0,1	≤0,1
			DBO ₅	mg/l	≤5	≤5	≤5
			Coliformes Totales	NMP/100ml	≤1.000	≤1.000	≤1.000
			Clorofila-a específica de cianobacterias	µg/l	≤50	≤30	≤10
			Número de cianobacterias	Cel/ml	≤20.000	≤10.000	≤5.000
			Cianotoxinas	µg/l	≤0,00001	≤0,00001	≤0,00001
Cabeza del Embalse	Cabeza del embalse (Presa)	Preservación de flora y fauna - Estético - Recreativo - Navegación y transporte acuático - Pesca - Generación de energía	pH	UpH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
			OD	mg/l	≥6.5	≥6.5	≥6.5
			Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	≤11,7	≤11,7	≤11,7
			Nitratos	mg/l	≤0,226	≤0,226	≤0,226
			Nitrógeno amoniacal	mg/l	≤0,25	≤0,25	≤0,25
			Ortofosfatos	mg/l	≤0,2	≤0,1	≤0,1
			Fósforo Total	mg/l	≤0,2	≤0,1	≤0,1
			DBO ₅	mg/l	≤5	≤5	≤5
			Coliformes Totales	NMP/100ml	≤1.000	≤1.000	≤1.000
			Clorofila-a específica de cianobacterias	µg/l	≤50	≤30	≤10
			Número de cianobacterias	Cel/ml	≤20.000	≤10.000	≤5.000
			Cianotoxinas	µg/l	≤0,00001	≤0,00001	≤0,00001

7. Programa de seguimiento y monitoreo del recurso hídrico.

La propuesta del programa de monitoreo y seguimiento del recurso hídrico en los sectores del embalse Calima y sus tributarios priorizados se centra en realizar un seguimiento y control periódico de la calidad y cantidad del agua de los ríos, con el fin de alcanzar y mantener los estándares de calidad y los usos potenciales de estos recursos.

Los monitoreos de seguimiento del recurso hídrico sobre el embalse Calima y sus tributarios priorizados, se deben realizar dos (2) veces al año, en épocas hidrológicas contrastantes (época seca y época húmeda).

7.1. Estaciones de seguimiento y monitoreo del recurso hídrico.

En la Tabla 52 se presentan las estaciones de cantidad y de calidad del agua para el programa de monitoreo de los sectores del embalse Calima y sus tributarios priorizados, definidas guardando coherencia con los objetivos de calidad y usos potenciales definidos para el corto, mediano y largo plazo.

Tabla 52. estaciones de monitoreo definidas para los sectores del embalse Calima y sus tributarios priorizados

Nombre del cuerpo de agua	Estación	Etiqueta	Coordenadas*	
			Latitud (N)	Longitud (W)
Embalse Calima	Cola del Embalse	E1	1.992.742	4.615.240
	Salida PTAR municipal	E2	1.991.939	4.614.080
	Entrada 4-5	E3	1.990.794	4.612.530
	Puerto Buga	E4	1.987.362	4.612.683
	Centro del embalse	E5	1.988.723	4.610.142
	Cabeza (presa)	E6	1.986.618	4.605.230
Río Calima	Punto de control	RC E1	1.998.536	4.616.720
	Puente Gaviones	RC E2	1.997.056	4.615.936
	Antes del Embalse	RC E3	1.994.545	4.615.714
	Después del Embalse	RC E4	1.987.928	4.601.777
Quebrada San José	Punto de control	QSJ E1	1.994.225	4.612.811
	Pueblo	QSJ E2	1.993.592	4.613.253
	Antes de Sinaí	QSJ E3	1.992.360	4.613.882
	Después de Sinaí	QSJ E4	1.992.516	4.613.849

Nombre del cuerpo de agua	Estación	Etiqueta	Coordenadas*	
			Latitud (N)	Longitud (W)
Quebrada PTAR	Antes de la PTAR	QPTAR1	1.993.069	4.613.796
	Aguas debajo de la descarga	QPTAR2	1.992.535	4.614.439

7.2. Parámetros para monitorear para el seguimiento al cumplimiento de los objetivos de calidad

Teniendo presente los objetivos de calidad y las estaciones establecidas, se propone un programa de monitoreo de vigilancia para los cuerpos de agua analizados durante el año de estudio. En este se describen las variables físicas, químicas, microbiológicas e hidrobiológicas más idóneas, teniendo en cuenta la variación de concentraciones en el monitoreo operacional realizado en el año 2023, la revisión de literatura, la importancia ecológica y la influencia sobre el crecimiento y reproducción de cianobacterias.

Parámetros	Unidades	Cuerpo de agua	
		Tributarios	Embalse Calima
pH	UpH	X	X
Profundidad Secchi	m		X
Profundidad máxima	m		X
Conductividad eléctrica	μS/cm	X	X
Oxígeno disuelto	mg/L	X	X
Temperatura del agua	°C	X	X
Potencial REDOX	mV	X	X
Productividad primaria	mg C/m ³ /h		X
Alcalinidad	mg/L	X	X
Dureza Total	mg/L	X	X
DBO5 Total	mg/L	X	X
DQO Total	mg/L	X	X
Color Verdadero	u.p.c	X	X
COT	mg/L	X	
Sólidos totales	mg/L	X	X
Sólidos suspendidos totales	mg/L	X	X
Sólidos suspendidos volátiles	mg/L	X	X
Sólidos disueltos totales	mg/L	X	X
Turbiedad	UNT	X	X
Nitrógeno total de Kjeldahl - NTK	mg/L	X	X
Nitrógeno amoniacal	mg/L	X	X
Nitratos	mg/L	X	X
Fósforo total	mg/L	X	X
Ortofósforos	mg/L	X	X

Parámetros	Unidades	Cuerpo de agua	
		Tributarios	Embalse Calima
Tensoactivo aniónico método SAAM	mg/L		
Compuestos organofosforados	mg/L	X	
Sílice	mg/L		X
Plomo Total	mg/L	X	X
Coliformes totales	NMP/100mL	X	X
Perifiton	[# individuos/ unidad de área] o [Biomasa]	X	
Fitoplancton	[# individuos/ volumen] o [Biomasa]		X
Clorofila-a	mg/L	X	X
Zooplancton	[# individuos/ volumen] o [Biomasa]		X
Macroinvertebrados	[# individuos/ unidad de área] o [total de individuos por taxón] o [Biomasa]	X	X
Macrófitas	[# individuos/ unidad de área] o [total de individuos por taxón] o [Biomasa]	X	X
Microcistina RR, MR, YR	mg/L		X
Cianobacterias	[# individuos/ volumen] o [Biomasa]		X
Ficocianina	mg/L		X

8. Programas y proyectos la prevención y control del fenómeno de floraciones de cianobacterias y contaminación en el embalse Calima

Teniendo en cuenta el estado actual del recurso hídrico, los resultados de la modelación, los análisis realizados y demás situaciones propias del embalse Calima y sus tributarios priorizados, se presenta a continuación la descripción de los proyectos o acciones propuestas para la prevención y control del fenómeno de floración de cianobacterias en el embalse Calima.

8.1. Saneamiento y descontaminación de las fuentes hídricas.

para mejorar el saneamiento y la calidad del agua en sus fuentes hídricas, especialmente en el embalse Calima. Estas acciones incluyen la optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), la implementación de tratamiento terciario para una mayor purificación, y el uso de plantas acuáticas (macrófitas) para regular la calidad del agua en el embalse. Además, se está desarrollando infraestructura integral para el saneamiento en establecimientos cercanos al embalse y se lleva a cabo el saneamiento de las aguas residuales que llegan a la quebrada San José. Estas medidas buscan proteger los recursos hídricos y garantizar un suministro de agua sostenible y de calidad para la comunidad.

A continuación, se presentan los proyectos u actividades propuestos para alcanzar los objetivos de calidad del agua del embalse Calima y sus tributarios priorizados.

Tabla 53. Proyecto – Optimizar el tratamiento existente de la planta de tratamiento de agua residual - PTAR - del municipio de Calima El Darién.

Nombre del Proyecto	Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)		
Objetivo General	Mejorar la eficiencia y capacidad de la PTAR para el tratamiento de las aguas residuales municipales, incorporando nuevas tecnologías y fortaleciendo la operación del sistema.	Objetivos Específicos	1. Al mediano plazo garantizar el tratamiento del 100% de las aguas residuales generadas por el municipio.
			2. Alcanzar una eficiencia de tratamiento del 80% a mediano plazo y del 100% a largo plazo.
			3. Reducir las cargas contaminantes vertidas.
Fases del Proyecto			
1. Diagnóstico y Planificación: Evaluación de la PTAR, mapeo de procesos, identificación de puntos críticos.		2. Implementación: Integración de nuevas tecnologías, capacitación del personal y monitoreo continuo.	
Actividades			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluación del estado actual de la PTAR. 2. Análisis de procesos y detección de ineficiencias. 3. Implementación de nuevas unidades de tratamiento. 4. Capacitación continua al personal. 5. Implementación de un sistema de monitoreo continuo. 			
Resultados Esperados			
<ul style="list-style-type: none"> • Mejora en la eficiencia de tratamiento (80% a mediano plazo y 100% a largo plazo). • Reducción de impacto ambiental y cumplimiento de los objetivos de calidad. • Optimización de costos operativos y mantenimiento. 			

Nombre del Proyecto	Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)		
Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento más eficiente de las aguas residuales. • Menor impacto ambiental y mejora en la calidad del agua. • Mejora en la capacidad operativa de la PTAR. 	Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento de la eficiencia (80% y 100%). • Reducción de contaminantes en las aguas tratadas. • Incremento en la capacidad de la PTAR.

Tabla 54. Implementación de nuevo tratamiento terciario en la planta de tratamiento de agua residual - PTAR - del municipio de Calima El Darién.

Nombre del Proyecto	Implementación de Tratamiento Terciario en la PTAR: Evaluación y Selección entre Humedal Subsuperficial o Laguna de Oxidación		
Objetivo General	Mejorar la calidad del agua tratada mediante la implementación de un sistema de tratamiento terciario, seleccionando entre un humedal subsuperficial o una laguna de oxidación.	Objetivos específicos	1. Evaluar y seleccionar tecnologías de tratamiento terciario 2. Diseñar un sistema de tratamiento terciario que se adapte e integre al sistema actual de la PTAR 3. Implementar un sistema de tratamiento terciario que se adapte e integre al sistema actual de la PTAR 4. Evaluar la contribución del proyecto a la prevención de la eutrofización de embalse
Fases del Proyecto			
1. Selección del tratamiento terciario: Evaluación técnica y económica de ambas opciones.	2. Diseño del sistema: Diseño según los requisitos de infraestructura y funcionamiento.	3. Instalación y puesta en marcha: Implementación del sistema y pruebas de funcionamiento.	4. Monitoreo y optimización continua: Seguimiento y ajustes operativos.
Opciones de Tratamiento			
Humedal Subsuperficial: Sistema que utiliza plantas acuáticas y microorganismos en un sustrato para tratar el agua. Menos espacio requerido y mejora paisajística.	Laguna de Oxidación: Estanque de aguas poco profundas donde se desarrolla un proceso de descomposición biológica aeróbica. Requiere más espacio y puede generar olores.		
Resultados esperados			
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de cargas contaminantes, específicamente nutrientes • Implementación de sistemas de tratamiento terciarios • Cumplimiento de los objetivos de calidad del embalse calima y tributarios priorizados 			

Tabla 55. Aprovechamiento de las plantas acuáticas (macrófitas) en la regulación de la calidad del agua en el embalse Calima.

Nombre del proyecto	Control y Aprovechamiento de <i>Eichhornia crassipes</i> en el Embalse Calima para Mejora Temporal de Calidad de Agua		
Objetivo general	Mitigar la carga contaminante en el embalse mediante el control y aprovechamiento de la <i>Eichhornia crassipes</i> como medida temporal mientras se construye un tratamiento terciario en la PTAR.	Objetivos específicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer un plan de control y manejo para evitar la proliferación excesiva de <i>Eichhornia crassipes</i>. 2. Evaluar la capacidad de <i>Eichhornia crassipes</i> para la depuración de contaminantes, especialmente en retención de metales pesados y nutrientes. 3. Implementar un sistema de monitoreo y extracción periódica de <i>Eichhornia crassipes</i> para su disposición adecuada.
Fases del proyecto			
1. Estudio de Capacidad Depuradora: Realización de muestreos periódicos para analizar la capacidad de retención de contaminantes por <i>Eichhornia crassipes</i> .	2. Diseño e Implementación del Plan de Control: Delimitación del área de crecimiento en el embalse, monitoreo de biomasa, y definición de frecuencia y técnica de extracción.	3. Monitoreo y Extracción Periódica: Asignación de personal capacitado para monitoreo y extracción de la planta, ajustando la frecuencia según el crecimiento.	4. Disposición de <i>Eichhornia crassipes</i> Extraída: Análisis de metales pesados en la planta extraída y disposición controlada según los niveles de contaminantes.
Metodología de control			
Extracción Manual:	Utilización de personal para la remoción periódica de <i>Eichhornia crassipes</i> en las áreas delimitadas.	Extracción Sistemática con Equipos	Uso de maquinaria para una remoción eficiente y controlada de la planta.
Resultados esperados			
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de niveles de contaminantes, incluyendo nutrientes y metales pesados. • Control de la proliferación de <i>Eichhornia crassipes</i> en áreas delimitadas del embalse • Implementación efectiva de monitoreo, extracción y disposición adecuada de <i>Eichhornia crassipes</i> extraída 			

Tabla 56. Implementación de infraestructura integral para el saneamiento en cercanía del embalse Calima.

Nombre del proyecto	Proyecto de Saneamiento y Gestión Sostenible de Aguas Residuales en Infraestructura de Puertos y Embarcaderos del Embalse Calima		
Objetivo General	Mejorar la gestión de aguas residuales en puertos, muelles y embarcaderos del embalse Calima, para reducir la contaminación y promover la sostenibilidad ambiental.	Objetivos Específicos	1. Disminuir la carga contaminante en el embalse mediante el control de vertimientos.
			2. Crear infraestructura sanitaria adecuada para uso público en las áreas de embarque y desembarque.
			3. Promover prácticas ambientalmente responsables entre los visitantes y la comunidad local.
			4. Facilitar la conservación de la biodiversidad acuática y la calidad del agua en el embalse.
Acciones a implementar			
Infraestructura a Construir	1. Baños públicos y duchas conectados al sistema de alcantarillado.	Actividades de Educación	1. Programas de concientización sobre prácticas sostenibles.
	2. Pozos sépticos para áreas sin conexión al alcantarillado.		2. Evaluación de la efectividad a largo plazo del proyecto.
Control y Seguimiento			
Monitoreo continuo de vertimientos para asegurar cumplimiento de estándares ambientales.			

Tabla 57. Saneamiento de las aguas residuales que llegan a la quebrada San José.

Nombre del proyecto	Proyecto de Reducción de Vertimientos y Mejora de la Calidad del Agua en la Quebrada San José		
Objetivo General	Reducir la contaminación de la quebrada San José mediante la recolección y tratamiento de aguas residuales, mejorando la calidad del agua y promoviendo prácticas sostenibles en la comunidad.	Objetivos Específicos	1. Minimizar la carga microbiana y orgánica vertida directamente a la quebrada.
			2. Construir un sistema de drenaje adecuado para recolectar y manejar las

			aguas residuales domésticas.
			3. Sensibilizar a la comunidad sobre la importancia de proteger los recursos hídricos locales.
			4. Monitorear de forma continua la calidad del agua para garantizar la sostenibilidad del proyecto.
Acciones a implementar			
Infraestructura a Construir:		Actividades de Educación:	
1. Sistema de drenaje para la recolección de aguas residuales.		1. Talleres para la comunidad sobre el impacto de los vertimientos directos.	
2. Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) comunitaria.		2. Campañas de sensibilización sobre la preservación de fuentes hídricas.	
Control y Seguimiento			
Implementación de un programa de monitoreo de la calidad del agua en puntos críticos antes y después del proyecto para evaluar su efectividad y realizar ajustes necesarios.			

Tabla 58. Capacitación de la comunidad estudiantil del municipio Calima Darién en la protección del embalse Calima

Nombre del proyecto	Formación Estudiantil para la Protección de Ecosistemas Acuáticos y la Promoción de Prácticas Sostenibles		
Objetivo General	Sensibilizar a la población estudiantil sobre la importancia de los ecosistemas acuáticos, fomentando una cultura ambiental sostenible y promoviendo acciones que beneficien la conservación de la biodiversidad y la calidad del agua.	Objetivos Específicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollar una comprensión integral sobre la interdependencia entre los seres humanos y los ecosistemas acuáticos. 2. Fomentar la adopción de prácticas sostenibles en la vida diaria de los estudiantes y sus comunidades. 3. Promover la difusión de conocimientos ambientales a través de la interacción de los estudiantes con sus familias y comunidades. 4. Fortalecer una cultura de conservación ambiental mediante actividades participativas y educativas.
Acciones a implementar			

Nombre del proyecto	Formación Estudiantil para la Protección de Ecosistemas Acuáticos y la Promoción de Prácticas Sostenibles
Actividades Educativas:	1. Charlas especializadas sobre la biodiversidad y los desafíos que enfrentan los ecosistemas acuáticos.
	2. Talleres prácticos sobre reducción de contaminación y conservación del agua.
	3. Salidas de campo para la exploración y estudio de ecosistemas acuáticos locales.
	4. Actividades interactivas como debates, simulaciones y proyectos grupales.
Control y Seguimiento	
1. Evaluación de cambios en el conocimiento y actitudes de los estudiantes mediante encuestas antes y después de las actividades. 2. Registro de la participación de estudiantes y familias en actividades sostenibles implementadas en sus comunidades. 3. Monitoreo a largo plazo de iniciativas estudiantiles relacionadas con la conservación de ecosistemas acuáticos.	

Tabla 59. Cuidado y conservación de los recursos naturales del embalse Calima a través de la inspección y vigilancia en el cumplimiento de las medidas normativas.

Nombre del Proyecto	Cuidado y Conservación de los Recursos Naturales del Embalse Calima a través de Medidas Normativas		
Objetivo General	Implementar un sistema integral de inspección y vigilancia para asegurar el cumplimiento de la normativa legal relacionada con la preservación de los cuerpos hídricos en el embalse Calima, controlando vertimientos, promoviendo la implementación de sistemas de tratamiento y garantizando la conexión a la red de alcantarillado, contribuyendo a la sostenibilidad y salud del ecosistema acuático.	Objetivos Específicos	• Capacitar a un equipo de inspectores especializados en normativa ambiental local para realizar evaluaciones técnicas.
			• Establecer un cronograma regular de inspecciones en áreas de mayor riesgo de incumplimiento normativo.
			• Implementar una plataforma centralizada para gestionar datos de inspección y generar informes detallados.
			• Coordinar con autoridades locales y ambientales para compartir información y aplicar sanciones en casos de incumplimientos graves.
Descripción del Proyecto			
Este proyecto a diez años tiene como finalidad fortalecer la gestión ambiental del embalse Calima a través de la creación de protocolos de inspección detallados, capacitación continua del personal, desarrollo de herramientas de monitoreo eficaces y la promoción de buenas prácticas ambientales. Asimismo, se establecerá una colaboración estrecha con las autoridades locales y ambientales para garantizar el cumplimiento normativo y la aplicación de sanciones. Se apoyará en los			

Nombre del Proyecto	Cuidado y Conservación de los Recursos Naturales del Embalse Calima a través de Medidas Normativas
resultados generados por proyectos de monitoreo en cuerpos de agua seleccionados, asegurando la preservación del ecosistema y su sostenibilidad a largo plazo.	
Acciones a Implementar	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Diseño e implementación de protocolos de inspección. 2. Capacitación técnica especializada para el equipo de inspectores. 3. Creación de una plataforma digital para la gestión de datos. 4. Realización de inspecciones periódicas en puntos estratégicos. 5. Promoción de buenas prácticas ambientales en la comunidad. 	
Control y Seguimiento	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitoreo continuo de la calidad del agua y cumplimiento normativo. 2. Evaluaciones anuales de la efectividad de las inspecciones y capacitación. 3. Generación de informes detallados para autoridades locales y actores clave. 	

Tabla 60. Monitoreo de calidad de aguas en el embalse Calima y tributarios

Nombre del Proyecto	Monitoreo de Calidad de Aguas en el Embalse Calima y Tributarios		
Objetivo General	Vigilar la calidad del agua del embalse Calima y sus tributarios principales.	Objetivos Específicos	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar la variabilidad de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e hidrobiológicos durante épocas de lluvia y sequía mediante seis (6) muestreos anuales. • Evaluar estos parámetros en seis (6) estaciones del embalse a tres (3) profundidades y en tres (3) tributarios priorizados. • Conocer la variación del Índice de Calidad del Agua (ICA) y del estado trófico en el embalse y tributarios durante tres (3) años consecutivos.
Descripción del Proyecto			
Se implementará un programa de monitoreo en el embalse y tributarios clave, analizando una amplia gama de parámetros de calidad de agua. Esto incluye seis (6) estaciones en el embalse a diferentes profundidades, tres (3) estaciones en tributarios priorizados, y el río Bravo a la salida del embalse. Se realizarán seis (6) muestreos anuales, divididos equitativamente entre épocas de lluvia y sequía, durante tres (3) años consecutivos. Los resultados permitirán evaluar los ICAs y el estado trófico, así como identificar fuentes de contaminación orgánica.			
Control y Seguimiento			
<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de los resultados de cada muestreo para identificar tendencias y riesgos emergentes. • Generación de informes periódicos para la toma de decisiones. 			

Nombre del Proyecto	Monitoreo de Calidad de Aguas en el Embalse Calima y Tributarios
• Ajustes en el programa de monitoreo según los hallazgos obtenidos.	

Tabla 61. Control de las floraciones de cianobacterias y evaluación de la acumulación de cianotoxinas en peces del embalse Calima.

Nombre del Proyecto	Control de las Floraciones de Cianobacterias y Evaluación de la Acumulación de Cianotoxinas en Peces del Embalse Calima		
Objetivo General	Evaluar la acumulación de cianotoxinas en peces del embalse Calima y la presencia de cianobacterias y cianotoxinas en muestras de agua.	Objetivos Específicos	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar las principales especies de peces presentes en el embalse Calima. • Detectar y cuantificar, mediante HPLC-DAD y HPLC/MS, las principales cianotoxinas presentes en las aguas del embalse. • Evaluar la acumulación de cianotoxinas en órganos de peces como músculo e hígado, durante tres (3) años, realizando aproximadamente seis (6) muestreos anuales. • Divulgar la información obtenida a pescadores y consumidores locales para fomentar prácticas seguras.
Descripción del Proyecto			
Durante tres (3) años, se realizarán seis (6) muestreos anuales para evaluar la presencia de cianobacterias y cianotoxinas en el agua, así como su acumulación en órganos de peces. Las cianotoxinas serán analizadas mediante técnicas de alta precisión como HPLC-DAD y HPLC/MS. Además, se identificarán las especies de peces más afectadas y se divulgarán los resultados a pescadores y consumidores locales para informarles sobre riesgos y buenas prácticas de consumo.			
Acciones a Implementar			
• Monitoreo regular de cianobacterias y cianotoxinas en seis (6) estaciones del embalse.			
• Análisis de cianotoxinas en órganos de peces mediante HPLC-DAD y HPLC/MS.			
• Identificación de las principales especies de peces presentes en el embalse.			
• Programas de divulgación y sensibilización dirigidos a pescadores y consumidores locales.			
Control y Seguimiento			
• Generación de informes periódicos con los resultados de los muestreos.			
• Evaluación del impacto de las campañas de sensibilización en la comunidad.			
• Monitoreo continuo de las concentraciones de cianobacterias y cianotoxinas en puntos críticos.			

9. CONCLUSIONES

- La sectorización del embalse Calima y de los principales tributarios permitió identificar con precisión las áreas críticas y priorizar las acciones de monitoreo y control. Esta metodología asegura una evaluación más precisa de las dinámicas hidrológicas y de calidad del agua.
- Los resultados obtenidos en las campañas de monitoreo, tanto in situ como en laboratorio, evidencian un conocimiento profundo de los parámetros clave, como oxígeno disuelto, nutrientes, sólidos suspendidos y clorofila-a, permitiendo evaluar el estado trófico del embalse y la influencia de las descargas puntuales y difusas.
- La utilización de índices como el ICA, ICOMO, y BMWP permitió clasificar objetivamente la calidad del agua y priorizar las acciones en sectores que presentan mayor presión antrópica. Estos índices fortalecen la gestión basada en evidencia científica.
- La formulación de escenarios mediante modelación hídrica y de calidad del agua proporciona una herramienta valiosa para predecir el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones, facilitando la planificación y toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo.
- Los estudios sobre las floraciones de cianobacterias y las medidas propuestas para su control, incluyendo el manejo de nutrientes y el uso de macrófitas, reflejan un enfoque técnico sólido en la mitigación de riesgos asociados a la eutrofización.
- La actualización de las redes de monitoreo hidrometeorológico y de calidad hídrica, con datos históricos y recientes, asegura la continuidad en la evaluación del sistema, permitiendo responder oportunamente a las variaciones en las condiciones del embalse.
- Los resultados del monitoreo biológico, incluyendo fitoplancton, zooplancton, macroinvertebrados y peces, permiten evaluar la salud del ecosistema acuático y diseñar estrategias para preservar la biodiversidad, un indicador clave de calidad ambiental.
- Las acciones propuestas para regular las captaciones y vertimientos no tratados buscan equilibrar las necesidades humanas con la capacidad de carga del embalse, garantizando su sostenibilidad en el tiempo.
- La definición de criterios de calidad del agua por usos, considerando aspectos técnicos y normativos, establece una base sólida para el manejo integral del recurso, alineado con los objetivos de desarrollo regional.
- La implementación de un programa de monitoreo detallado permitió recopilar datos clave sobre la calidad del agua y la biodiversidad del embalse Calima. Esto incluye el análisis de parámetros físico-químicos, biológicos e hidrobiológicos, con una visión integral para la formulación de los objetivos de calidad del agua.
- El análisis detallado de los vertimientos y las fuentes de contaminación fue fundamental para priorizar acciones sobre los puntos críticos, como los tributarios San José y PTAR.
- Se lograron establecer objetivos claros y criterios de calidad por uso, que permiten orientar los esfuerzos hacia la conservación del embalse y la protección de los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados.



- Las estrategias para prevenir y mitigar el fenómeno de floraciones de cianobacterias, incluyendo la optimización de plantas de tratamiento de aguas residuales y el manejo de macrófitas, reflejan un enfoque proactivo en la gestión de riesgos ambientales.
- Las acciones de capacitación a comunidades locales resaltan el compromiso de la CVC por involucrar a la población en la conservación del recurso hídrico, fomentando la corresponsabilidad en la protección ambiental.
- Las acciones presentadas no solo cumplen con las normativas ambientales, sino que también garantizan el uso sostenible del embalse para actividades como generación de energía, recreación, pesca y abastecimiento de agua potable.

10. REFERENCIAS

Cobo, Fernando & Barca-Bravo, Sandra & Lago Meijide, Lorena. (2016). Normativa ambiental internacional para la regulación de las floraciones de cianobacterias y sus biotoxinas. Seminario internacional de taxonomía y ecología de las floraciones algales en aguas continentales. 77-90.

Colparques. (2022). Lago Calima Reserva Natural Regional. Recuperado de: <http://www.colparques.net/CALIMA>

Decreto 1076. (2015, 26 mayo). Funcionpublica.gov.co. Recuperado 15 de noviembre de 2023, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Efecto de las descargas domésticas y de beneficio de café sobre la calidad del agua y la diversidad de larvas de Odonata (Insecta) en un arroyo de bosque mesófilo de montaña en Veracruz, México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 88, pp. 372-380.

Elliott, J.A. 2012. Is the future blue-green? A review of the current model predictions of how climate change could affect pelagic freshwater Cyanobacteria. Water Research 46: 1364–1371.

Establecimiento de un área protegida en el Alto y bajo Calima, área clave de biodiversidad en el ValledelCauca, Colombia.(s. f.). <https://ipt.biodiversidad.co/sib/resource?r=riobravo#:~:text=El%20%C3%A1rea%20forma%20parte%20de,en%20categor%C3%ADa%20de%20preservaci%C3%B3n>

Guerrero, A. (19 de noviembre de 2011). Agua limpia para el turismo en el lago Calima. Emprendices.

Hoyos, D., & Dias, L. (2020). Contribución taxonómica a la subfamilia Chironominae de Caldas: nuevos registros, clave taxonómica y diagnosis. Rev. acad. colomb. cienc. exact. fis. nat., 44, 507-521.

Huszar, V.L.M., N.F. Caraco, F. Roland, y J. Cole, 2006. Nutrient–chlorophyll relationships in tropical–subtropical lakes: do temperate models fit?. Biogeochemistry. 79: 239–250.

IDEAM. (2018). Protocolo de monitoreo del agua. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales.



IDEAM. (s.f.). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/siac/calidadagua>
Moreno, C. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza: CYTED, ORCYT/UNESCO & SEA.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Guía nacional de modelación del recurso hídrico para aguas superficiales continentales. Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico. <https://www.minambiente.gov.co/gestionintegral-del-recurso-hidrico/guia-nacional-para-la-modelacion-recurso-hidricosuperficial-continental/>

Monitoreo y seguimiento de fauna terrestre para el AID y AII de la Central Hidroeléctrica de Calima. 2017-B. (s. f.). <https://ipt.biodiversidad.co/sib/resource?r=ch-calima-2018-b>

Mosquera-Restrepo, D., & Peña-Salamanca, E. J. (2019). “Ensamblaje” de macroinvertebrados acuáticos y su relación con variables fisicoquímicas en un río de montaña en Colombia. *Biología Tropical*, 67, pp. 1235-1246.

Mur, L.R., O.M. Skulberg y H. Utkilen. 1999. Cyanobacteria in the environment Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management.

Pérez, G. R. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.

Plan de Desarrollo Territorial 2020-2023. (2020, 7 junio). ogpt.valledelcauca.gov.co. Recuperado 15 de noviembre de 2023, de <https://ogpt.valledelcauca.gov.co/storage/Cientes/ogpt/principal/imagenes/contenidos/2501-pdm%20calima.pdf>

Resolución 0827 de 2022 - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022, 5 octubre). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-0827-de-2022/#:~:text=Agosto%20de%202022%2C%20%20C2%ABPor,marco%20del%20expediente%20SRF%20561%20BB>

Rojas-Jimenez. (26 de 09 de 2022). Capítulo 6 Análisis de Cluster, Mapas de Calor y Análisis Multivariados. Obtenido de Ciencia de Datos para Ciencias Naturales: https://bookdown.org/keilor_rojas/CienciaDatos/an%C3%A1lisis-de-cluster-mapas-de-calor-y-an%C3%A1lisis-multivariados.html

Roldán, G. (2003). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Medellín: Antioquia.

Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2001, junio). Norma de Calidad del Agua y Control de Descargas. elaw.org. Recuperado 15 de noviembre de 2023, de https://elaw.org/sites/default/files/content_type_law_attachment/do.calidad.del_agua.pdf

Te, S.H. y K.Y.H. Gin. 2011. The dynamics of cyanobacteria and microcystin production in a tropical reservoir of Singapore. *Harmful Algae*, Elsevier 10: 319–329.



Torres, E. A. (10 de 02 de 2023). Exigen reordenamiento urbanístico de Calima, El Darién, Valle del Cauca. W Radio.

Toxic cyanobacteria in water – Second edition. (s. f.).
<https://www.who.int/publications/m/item/toxic-cyanobacteria-in-water---second-edition>