



Autoridad para el Manejo
**Sustentable de la Cuenca y
del Lago de Amatitlán**

INFORME MENSUAL DE ACTIVIDADES ABRIL 2025

División de Control, Calidad
Ambiental y Manejo de Lagos

LIBERTAD
15 DE
SEPTIEMBRE
DE 1821

Km. 22. Ruta al Pacífico
Tel: 6624 1700

www.amsa.gob.gt

Síguenos en



Autoridad del Lago de Amatitlán



Autoridad para el Manejo
**Sustentable de la Cuenca y
del Lago de Amatitlán**

INFORME MENSUAL DE ACTIVIDADES, ABRIL 2025

DIVISIÓN DE CONTROL, CALIDAD AMBIENTAL Y MANEJO DE LAGOS

Elaborado por

Lic. Ferdiner Ulises González Ortiz: Especialista en Análisis Fisicoquímicos

Lic. Herbert Ismatul: Especialista en Cromatografía de Gases

M.A. Abril Roberto Juárez: Especialista en Absorción Atómica

Ing. Alexis Canteros: Especialista en Microbiología

Sra. Melanie Fraatz de Mendía: Asistente de División

Manuel Juárez, técnico de Monitoreo

Carol García, técnico de Biodiversidad

Jeimy Obando, técnico en Microbiología

Ing. José Diego Morales Ortega, jefe de División





Contenido

RESUMEN	4
CAPÍTULO I: INFORME DE RÍOS DE LA CUENCA DEL LAGO DE AMATITLÁN	5
Datos registrados de los ríos tributarios de la cuenca del Lago de Amatitlán	7
Parámetros fisicoquímicos de los ríos tributarios de la cuenca del Lago de Amatitlán.	9
Parámetros <i>in situ</i>	9
Nutrientes	17
Otros análisis	22
Parámetros biológicos de los ríos tributarios de la cuenca del Lago de Amatitlán.	24
CAPÍTULO II: INFORME DEL ESTADO ECOLÓGICO DEL LAGO DE AMATITLÁN	25
Parámetros Fisicoquímicos de los puntos de monitoreo establecidos en el Lago de Amatitlán	29
Parámetros <i>in situ</i>	29
Nutrientes	34
Otros análisis	37
Parámetros biológicos de los puntos de monitoreo establecidos en el Lago de Amatitlán	40
CONCLUSIONES SOBRE EL ESTADO DE LOS CUERPOS DE AGUA DE LA CUENCA Y EL LAGO DE AMATITLÁN	41
REGISTRO FOTOGRÁFICO	45
CAPÍTULO III: OTRAS ACTIVIDADES REALIZADAS POR LA DIVISIÓN DE CONTROL AMBIENTAL	46
REFERENCIAS.....	47



RESUMEN

El lago de Amatitlán es el principal reservorio de agua cercano a la ciudad capital. Este presenta un área superficial de 15 Km² y una profundidad media de 18 m. Su principal afluente natural es el río Villalobos al cual confluyen los ríos tributarios que se distribuyen por 14 municipios que conforman la Cuenca del Lago de Amatitlán. La distribución de los afluentes del río Villalobos a lo largo de los poblados ha permitido que los mismos sean utilizados como receptores de aguas residuales tanto domésticas como industriales, convirtiendo a este afluente en un reservorio cargado de contaminantes químicos y biológicos que, durante su recorrido y al llegar al Lago, afectan las características fisicoquímicas y ecológicas naturales.

Adicional a lo anterior, el crecimiento urbano ha provocado la degradación de los bosques y ecosistemas de la cuenca, impermeabilizando los suelos y causando pérdida de diversidad biológica, lo que genera un impacto también en la capacidad del ecosistema para recuperarse, y en la calidad y cantidad de agua disponible para los distintos usos y para la naturaleza.

Por lo anterior, la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán, a través de la División de Control, Calidad Ambiental y Manejo de Lagos está realizando el levantamiento de la línea base de las características ecológicas y biológicas de la cuenca, así como también el monitoreo constante de las propiedades fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas del agua del Lago de Amatitlán y sus afluentes, para establecer el estado en que se encuentran tanto el Lago como sus ríos tributarios, y poder brindar recomendaciones para el manejo y recuperación de los cuerpos de agua y de la cuenca.

Para lograr lo anteriormente descrito, durante abril del 2025 se realizaron las siguientes actividades:

- Monitoreo y análisis de la calidad de agua de siete de los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán.
- Monitoreo y análisis de la calidad de agua del lago de Amatitlán.

En el siguiente informe se presentan los resultados y análisis de la calidad de agua de los principales ríos tributarios en la cuenca y del lago de Amatitlán.



CAPÍTULO I: INFORME DE RÍOS DE LA CUENCA DEL LAGO DE AMATITLÁN

La Cuenca del Lago de Amatitlán, se caracteriza por presentar más de 550 Km de cauce fluvial, representado por 18 ríos de diferente categoría. De estos más del 25 % son permanentes, transportando principalmente las aguas residuales (ordinarias, especiales y mixtas) y desechos sólidos que drenan y se vierten de los poblados circunvecinos.

La Autoridad del Lago de Amatitlán realiza el monitoreo y el análisis mensual de calidad de agua de los siguientes ríos en la parte baja: río Pampumay, río El Frutal/Zacatal, río Pansalic/Panchiguajá, río Pinula, río Platanitos, río San Lucas y río Villalobos (cuadro 1 y figura 1). El monitoreo consiste en la determinación de caudal, parámetros fisicoquímicos (*in situ* y en análisis de laboratorio), metales pesados, grasas y aceites, indicadores biológicos (macroinvertebrados) y análisis microbiológicos.

Cuadro 1. Principales ríos tributarios de la Cuenca del lago de Amatitlán.

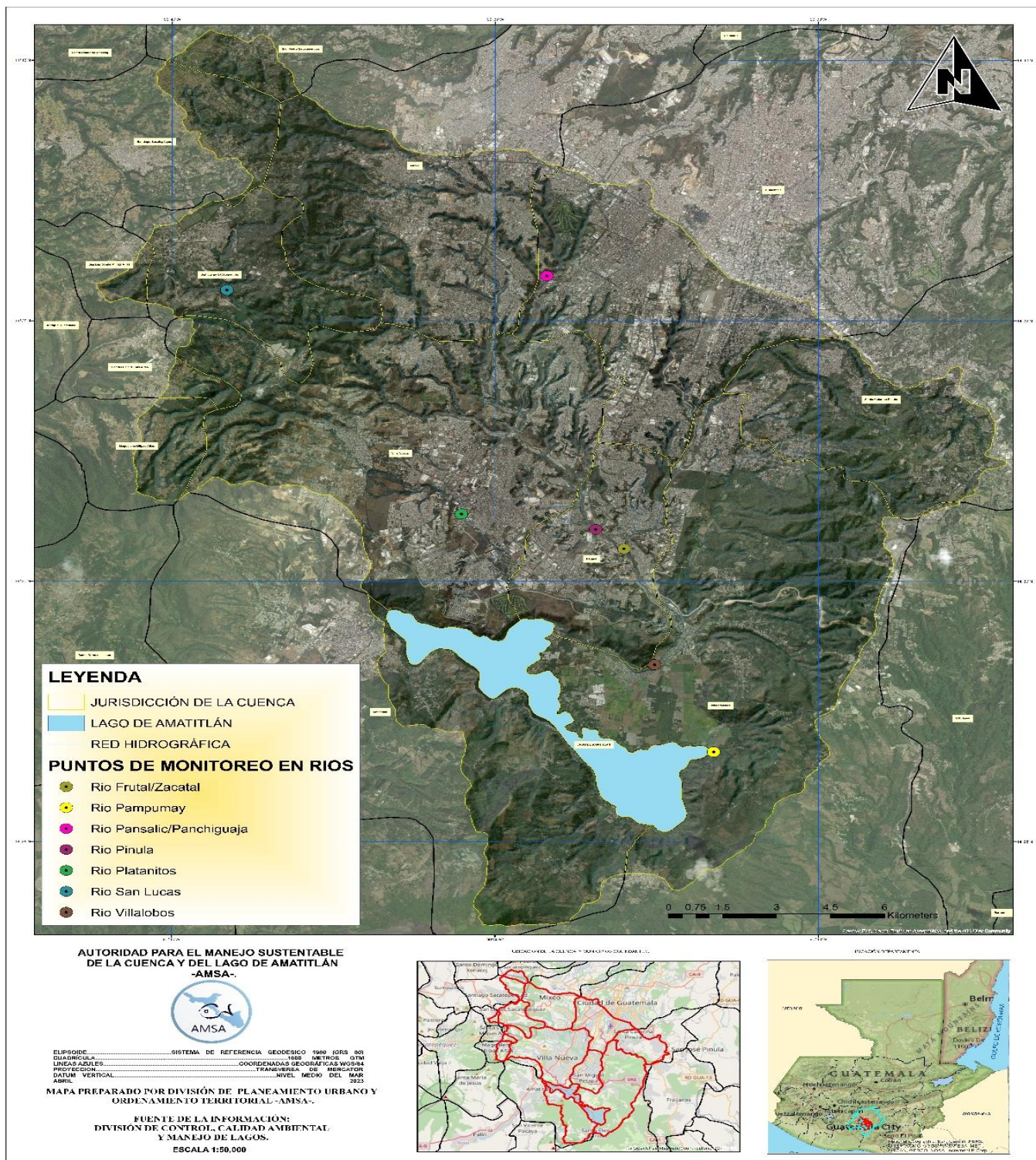
Punto de Muestreo	Coordenadas	
Río San Lucas	14°35'35.7"	90°39'09.3"
Río Pansalic/Panchiguajá	14°35'52.0"	90°34'12.0"
Río Platanitos	14°31'17.4"	90°35'31.2"
Río Pinula	14°30'37.4"	90°33'0.14"
Río Frutal/Zacatal	14°30'37.2"	90°33'0.4"
Río Villalobos baja	14°28'23.9"	90°32'32.0"
Río Pampumay baja	14°26'43.5"	90°31'37.3"

Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.

Para cada uno de los puntos muestreados en ríos se realizó el análisis de los siguientes parámetros:

- *In situ*: caudal, potencial de hidrógeno, conductividad, oxígeno disuelto, profundidad promedio, sólidos disueltos totales, temperatura, salinidad.
- Fisicoquímicos: color aparente, color verdadero, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), nutrientes (fósforo total, ortofosfatos, nitrógeno de amonio, nitrógeno de nitrato, nitrógeno de nitrito, nitrógeno total), sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos sedimentables, turbiedad, metales pesados, contaminantes emergentes, grasas y aceites.
- Microbiológicos: coliformes fecales.
- Biológicos: macroinvertebrados.

Figura 1: Puntos de muestreo del monitoreo de calidad del agua de los principales ríos de la Cuenca del Lago de Amatitlán.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo del lago, 2025.



Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán

Datos registrados de los ríos tributarios de la cuenca del Lago de Amatitlán

Cuadro 2: Parámetros *in situ* de los ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán, abril 2025.

Fecha	Hora	Sitio	Altitud (msnm)	Caudal (L/s)	pH (U)	Temperatura (°C)	Conductividad (μS/cm)	Salinidad (%)	TDS (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Porcentaje de saturación de oxígeno (%)
7/04/2025	12:00	Río Villalobos	1.217	1,780.00	7.66	28.50	980.0	0.46	490	0.16	2.40
7/04/2025	11:15	Río Pampumay	30,67	6.11	7.75	24.00	171.0	0.08	85.5	6.00	86.70
9/04/2025	09:40	Río Frutal Zacatal	1.230	802.80	7.72	22.90	954	0.48	477	0.37	5.00
9/04/2025	10:20	Río Pinula	1.234	668.00	7.72	25.20	805	0.40	402.5	0.49	6.90
9/04/2025	13:50	Río Platanitos	1.335	98.89	7.71	27.50	996	0.43	498	0.20	3.10
10/04/2025	09:50	Rio San Lucas	1.978	51.97	7.78	18.50	511	0.29	255.5	4.29	58.80
10/04/2025	11:45	Río Pansalic/Panchigua	1.398	221.10	7.86	21.70	856	0.46	428	3.38	45.00

Fuente: División de Control, calidad ambiental y manejo del lago, 2025.

Cuadro 3: Parámetros fisicoquímicos de los ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán, abril 2025.

Sitio	Color Aparente (U Pt-Co)	Color Verdadero (U Pt-Co)	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Ortofosfatos (mg/L)	Nitrógeno de Amonio (mg/L)	Nitrógeno de Nitrato (mg/L)	Nitrógeno de Nitrito (mg/L)	Nitrógeno total (mg/L)
Río Villalobos	2,605	103	230	316	5.0847	2.4798	27.3396	< 0.0010	0.0078	47.5284
Río Pampumay	40	22	< 2	< 5	0.1075	0.0905	0.0164	0.0599	0.0057	1.2498
Río Frutal Zacatal	5,200	100	170	310	4.1066	1.6549	23.0469	< 0.0010	0.0071	37.2692
Río Pinula	1,980	88	260	348	4.5153	2.1991	22.6642	< 0.0010	0.0063	39.4143
Río Platanitos	2,010	122	300	474	5.2029	2.7110	25.6846	< 0.0010	0.0086	42.8322
Rio San Lucas	255	50	36	80	2.9070	2.3028	16.6050	1.0387	0.1371	23.2923
Río Pansalic/Panchigua	4,600	112	240	405	4.9516	1.5016	25.1750	< 0.0010	0.0318	46.6541

Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo del lago, 2025.



Autoridad para el Manejo
**Sustentable de la Cuenca y
del Lago de Amatitlán**

Cuadro 4: Parámetros fisicoquímicos y análisis microbiológicos de los ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán, abril 2025.

Sitio	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Sólidos sedimentables (mL/L)	Turbiedad (NTU)	Grasas y Aceites (mg/L)	Coliformes fecales (UFC/100 mL)	E. coli (UFC/100 mL)
Río Villalobos	470	2.5	400	12.4	6.20E+06	4.50E+06
Río Pampumay	3	0.1	3	3.2	5.70E+02	1.40E+02
Río Frutal Zacatal	900	5.0	850	16	2.50E+07	1.40E+07
Río Pinula	368	3.0	273	13	7.70E+06	4.10E+06
Río Platanitos	248	3.5	247	16.2	3.30E+07	4.40E+06
Río San Lucas	37	1.0	24	13.2	2.00E+06	1.40E+06
Río Pansalic/Panchig uajá	750	7.0	760	10.4	1.20E+07	9.20E+06

Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo del lago, 2025.



Parámetros fisicoquímicos de los ríos tributarios de la cuenca del Lago de Amatitlán.

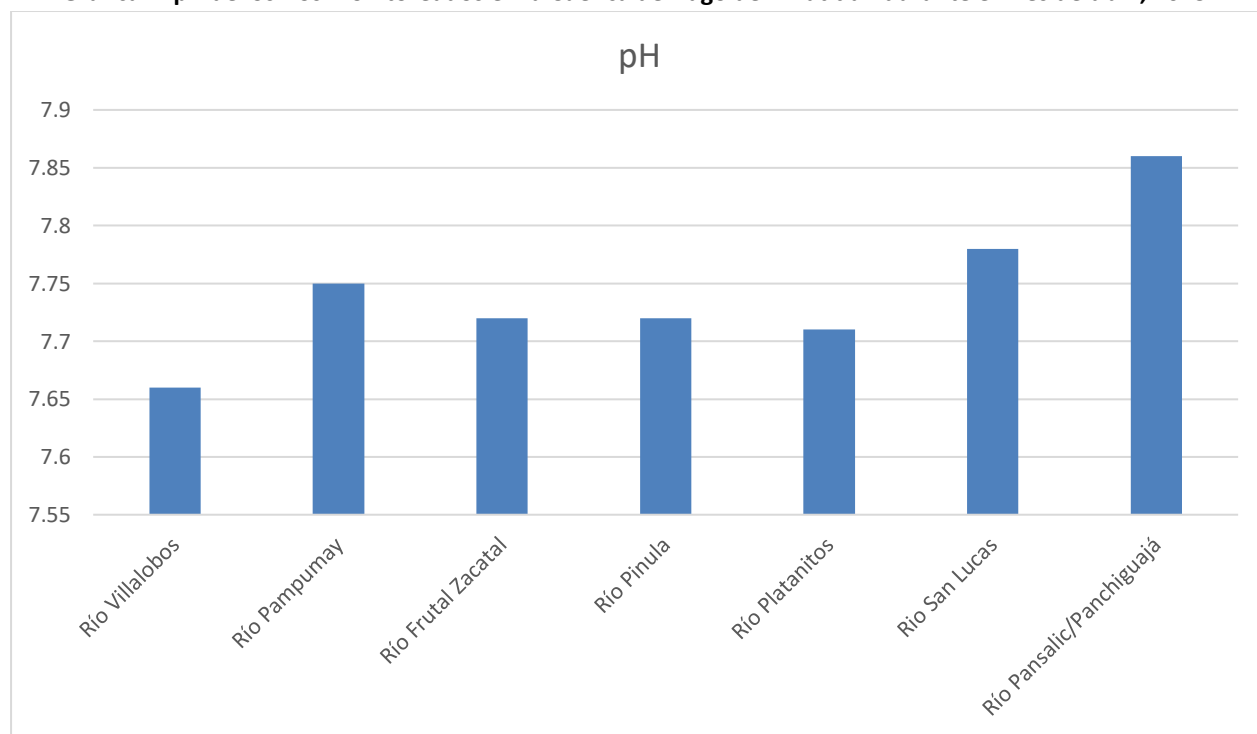
Parámetros *in situ*

- **Potencial de hidrógeno (pH):**

El grado de acidez o basicidad de un cuerpo de agua se basa en función de los iones de hidrógeno (H^+) e iones de hidróxido (OH^-) disociados en el agua. Este parámetro está basado en una escala del 1.0 al 14.0, teniendo una escala neutra de 7. Mientras más bajos sean los valores de pH, mayor acidez se detectará en una solución. Mientras más altos sean los valores de pH, Mayor basicidad se detectará en una solución. Además, los valores de acidez o alcalinidad se encuentran estrechamente relacionados con el origen geológico de los suelos y sales disueltas en el agua.

Los valores de pH, en todos los ríos monitoreados en la cuenca, se mantienen en un rango de 7.71 a 7.86. El rango ideal para no afectar a las poblaciones de organismos acuáticos, ni afectar la salud de la población es de 6.5-9.0 (EPA, 2009), por lo que este rango detectado en los ríos de la cuenca no incide negativamente en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos. Con relación al mes pasado el río Pansalic/Panchiguajá fue el punto que más alto tuvo el pH de 7.86 en el presente mes.

Gráfica 1: pH de los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.



- **Temperatura:**

La temperatura del agua es un parámetro fisicoquímico fundamental para la evaluación de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos, ya que influye directamente en diversos procesos fisicoquímicos y biológicos. Uno de los aspectos más relevantes de este parámetro es su relación inversa con la solubilidad del oxígeno disuelto (OD); a mayor temperatura, la capacidad del agua para retener oxígeno disminuye, lo cual puede comprometer la supervivencia y funcionamiento fisiológico de organismos acuáticos aerobios, especialmente peces, macroinvertebrados y zooplancton (Wetzel, 2001; EPA, 2009).

Durante el mes de abril, se observaron temperaturas superiores a los 20 °C en la mayoría de los ríos monitoreados en la cuenca del lago de Amatitlán, siendo el río San Lucas la única excepción, con una temperatura de 18.5 °C, que representa un leve incremento respecto al mes anterior. Este patrón térmico es característico de sistemas fluviales ubicados en zonas bajas y medias de cuencas hidrográficas, donde la cobertura de vegetación ribereña es limitada o está ausente. La escasa cobertura vegetal facilita la exposición directa del cuerpo de agua a la radiación solar, favoreciendo el incremento térmico (Allan & Castillo, 2007).

Contrariamente, ríos como Pampumay y Platanitos mantienen una mayor proporción de cobertura vegetal ribereña, lo cual contribuye a la regulación térmica mediante la sombra. Sin embargo, se ha reportado que esta vegetación es periódicamente removida, lo que ocasiona fluctuaciones térmicas estacionales y locales, afectando la estabilidad térmica del ecosistema.

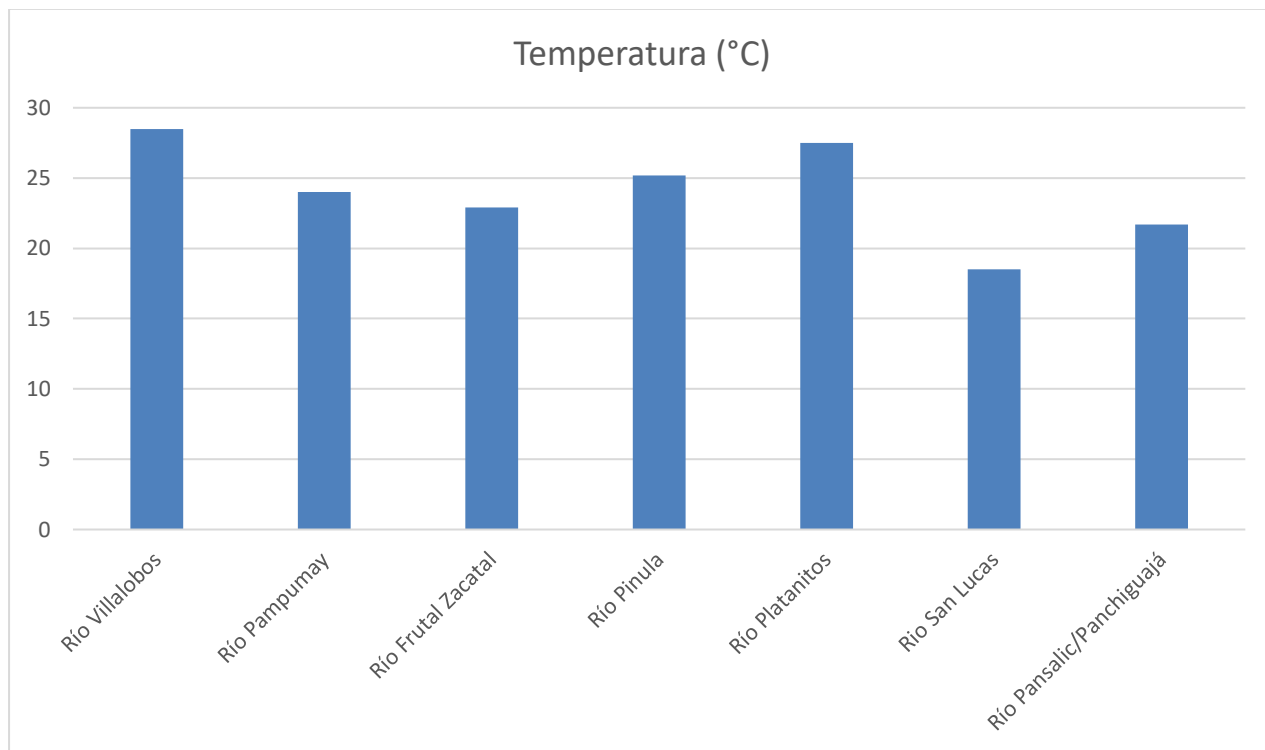
En el caso del río Villalobos, se registró una temperatura de 28.5 °C, evidenciando un leve aumento con respecto al mes anterior. Este incremento puede atribuirse a las condiciones características de la época de estiaje, en la cual se reduce el caudal fluvial y aumenta la residencia del agua, favoreciendo su calentamiento. Esta situación es preocupante, considerando que el río Villalobos es uno de los principales aportes hídricos al lago de Amatitlán, y su condición térmica puede tener efectos directos sobre la calidad del agua y los procesos de eutrofización del sistema lacustre.

En términos ecológicos, temperaturas elevadas combinadas con bajos niveles de oxígeno disuelto pueden generar estrés térmico en los organismos acuáticos, alterar las tasas metabólicas, reducir la diversidad biológica y favorecer el desarrollo de organismos oportunistas como las cianobacterias, lo cual agrava el estado trófico del lago (Paerl & Paul, 2012).



Autoridad para el Manejo
**Sustentable de la Cuenca y
del Lago de Amatitlán**

Gráfica 2: Temperatura (°C) de los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.



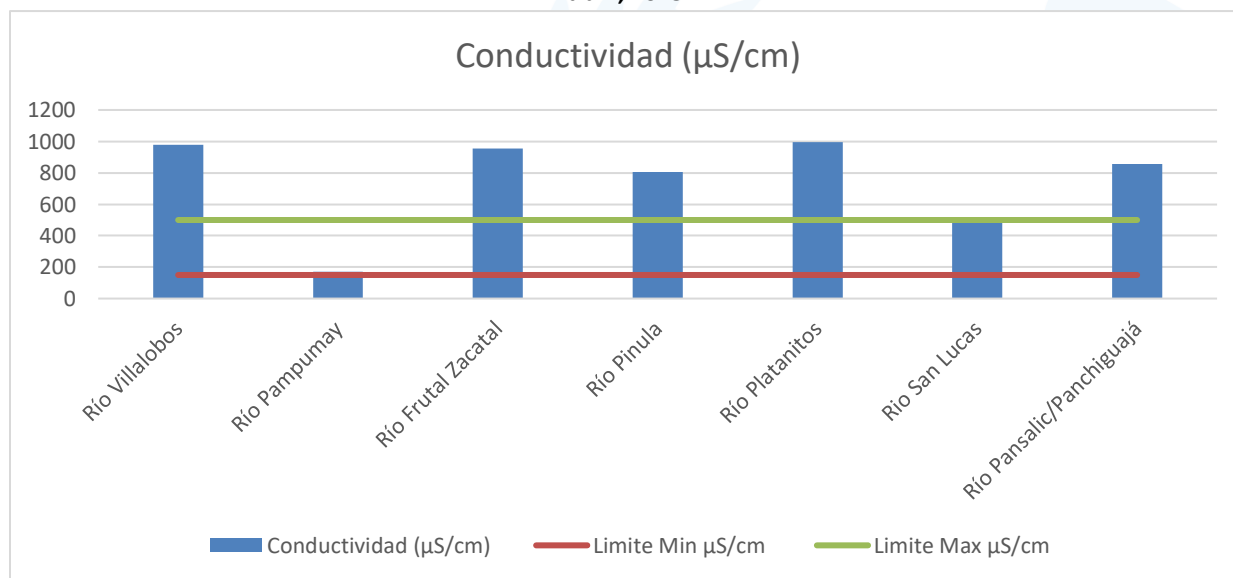
- **Conductividad:**

Los valores de conductividad representan la capacidad de conducción eléctrica en el agua, condición que se ve influenciada por la cantidad de sales disueltas detectadas. Los valores entre 150-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se consideran normales para ríos y riachuelos (EPA, 2012). Los valores de conductividad pueden estar influenciados por el tipo de suelo, actividades comerciales que se realicen en la cuenca, descargas del tipo industrial, etc.

En el mes de abril se registraron valores altos de conductividad, en este mes en particular uno de los ríos monitoreados no supero los 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ siendo este el Río Pampumay, que está por debajo del límite máximo, los restantes Ríos están por encima del rango máximo requerido (Gráfica 3). En las cercanías de los ríos Frutal/Zacatal se evidencia un leve aumento en los valores con respecto al mes de marzo, llama mucho la atención el río Villalobos, al ser el principal afluente, se convierte en el mayor receptor de sales y por lo tanto se registran continuamente altas conductividades en su ecosistema, pero este mes en comparación al mes anterior tuvo un leve aumento de 898 a 980. El río Platanitos es un río tributario que normalmente mantiene conductividades altas (900-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) debido a que es un río fuertemente urbanizado, donde múltiples descargas urbanas caen directamente a este sistema lotico, con relación al mes de marzo este río mantuvo sus valores con respecto a los valores que normalmente se mantiene de 996 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En contraste, el río Pampumay presentó el más bajo registro de conductividad (171 $\mu\text{S}/\text{cm}$) disminuyendo en comparación con el mes anterior y estando dentro del rango ideal, no afectando a los organismos acuáticos que habitan dicho río, lo cual indica los bajos niveles de sales disueltas que entran a este ecosistema acuático.

Gráfica 3: Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.



- **Oxígeno Disuelto:**

El oxígeno disuelto (OD) constituye uno de los principales indicadores del estado ecológico y la calidad del agua en ecosistemas acuáticos, ya que interviene en numerosos procesos biológicos y fisicoquímicos, tales como la respiración de organismos aeróbicos, la descomposición de materia orgánica, y los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno y el carbono (Wetzel & Likens, 2000). La concentración de OD es influenciada por múltiples factores, incluyendo temperatura, salinidad, turbulencia, cobertura vegetal, carga orgánica, y presencia de contaminantes (Roldán & Ramírez, 2008).

En condiciones óptimas, los valores de OD en cuerpos de agua dulce deben situarse entre 7.0 y 9.0 mg/L para garantizar la sostenibilidad de comunidades biológicas sensibles, particularmente peces, macroinvertebrados y crustáceos. Durante el mes de abril, los registros de OD en los ríos monitoreados de la cuenca del lago de Amatitlán revelan condiciones subóptimas, con la mayoría de los sitios reportando concentraciones inferiores a 7 mg/L, lo cual denota estrés ambiental y disminución de la capacidad de autodepuración. El único punto con una leve mejora fue el río Pampumay, el cual alcanzó un valor de 6.0 mg/L, registrando un ligero incremento respecto al mes anterior. No obstante, este valor aún se encuentra por debajo del umbral recomendado, lo que sugiere que incluso este cuerpo de agua, a pesar de su relativa conservación, experimenta presiones antrópicas o limitaciones físicas que afectan su capacidad de oxigenación.

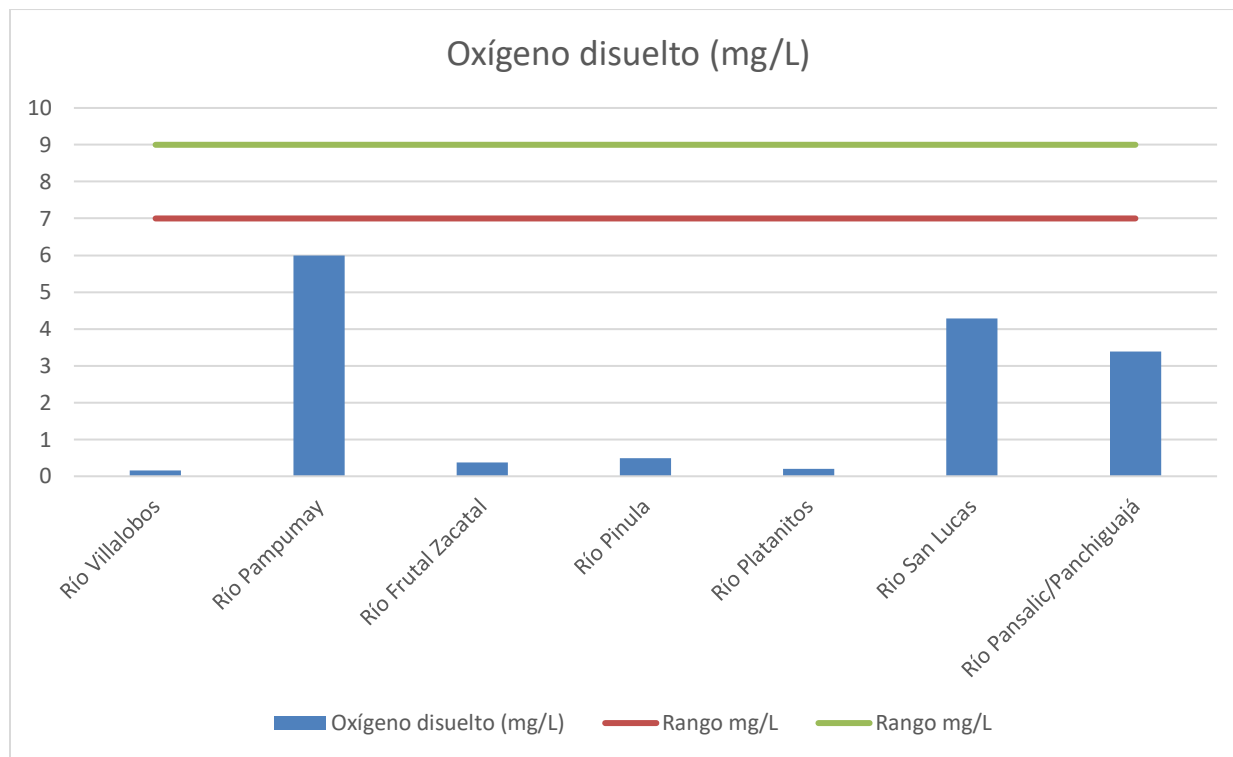
En contraste, el río Platanitos presentó la concentración más baja de OD con un valor crítico de 0.20 mg/L, lo que representa condiciones severamente hipóxicas, incompatibles con la vida acuática aerobia. Esta reducción, aunque leve respecto a marzo, indica un deterioro persistente del sistema, probablemente asociado a descargas urbanas sin tratamiento, elevada carga orgánica y procesos de eutrofización que intensifican la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

La deficiencia de oxígeno en estos sistemas lóticos compromete significativamente la diversidad y abundancia de la fauna acuática, disminuye la tasa de descomposición aeróbica y favorece condiciones reductoras que pueden liberar nutrientes y metales pesados del sedimento, exacerbando aún más la degradación del sistema. Es imperativo implementar medidas de manejo integradas para mitigar la carga contaminante y restaurar el equilibrio ecológico de estos cuerpos de agua.



Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán

Gráfica 4: Oxígeno disuelto (mg/L) de los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.





Autoridad para el Manejo **Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán**

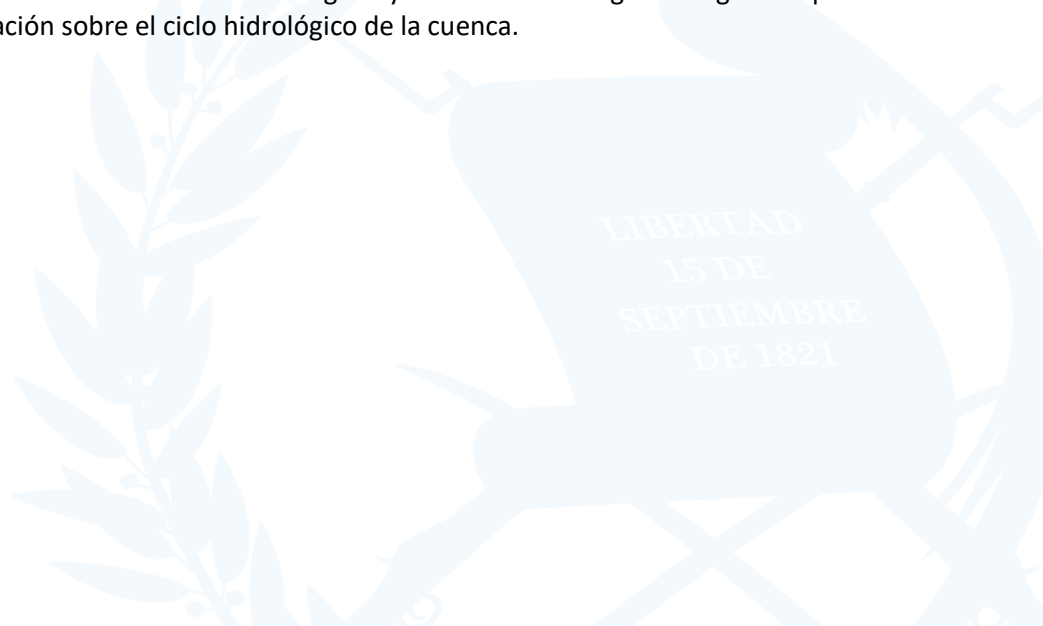
- **Caudal:**

La cuenca del lago de Amatitlán presenta una marcada estacionalidad en los caudales de sus ríos, influenciada principalmente por épocas de estiaje y lluvias y exacerbada por la creciente urbanización en el área. El incremento en la cobertura de superficies impermeables como pavimento y construcciones ha reducido significativamente la capacidad de infiltración del suelo, favoreciendo una rápida generación de escorrentía superficial que drena de forma directa hacia el sistema lacustre, disminuyendo la recarga de acuíferos y alterando la dinámica hidrológica natural.

Durante el mes de abril, los caudales registrados corresponden al periodo de estiaje, caracterizado por una drástica reducción en los volúmenes de escurrimiento, especialmente en ríos tributarios ubicados en las partes baja y media de la cuenca, como el río San Lucas y el río Pansalic/Panchiguajá. El río Pampumay, pese a encontrarse en la parte baja de la cuenca, reportó el caudal más bajo (6.11 L/s), acentuando la tendencia de caudales persistentemente bajos tanto en época seca como húmeda. Esta condición responde, entre otros factores, a su aislamiento del sistema de drenaje principal vinculado al río Villalobos.

En contraste, los ríos Frutal/Zacatal y Pinula, que sí forman parte activa de la red de drenaje del Villalobos, registraron caudales relativamente más altos de 802.8 L/s y 668 L/s respectivamente. No obstante, estos valores muestran una disminución respecto al mes de marzo, lo que refleja la progresiva reducción en los aportes hídricos durante la época seca. De especial atención es la condición del río Villalobos, principal afluente del lago de Amatitlán, el cual registró un caudal de 1,780 L/s, evidenciando una disminución significativa en comparación con el mes anterior. Esta reducción tiene implicaciones directas sobre la hidrodinámica del lago, dado que este río no solo contribuye con el mayor volumen de entrada de agua, sino también con la mayor carga de contaminantes, nutrientes y sedimentos.

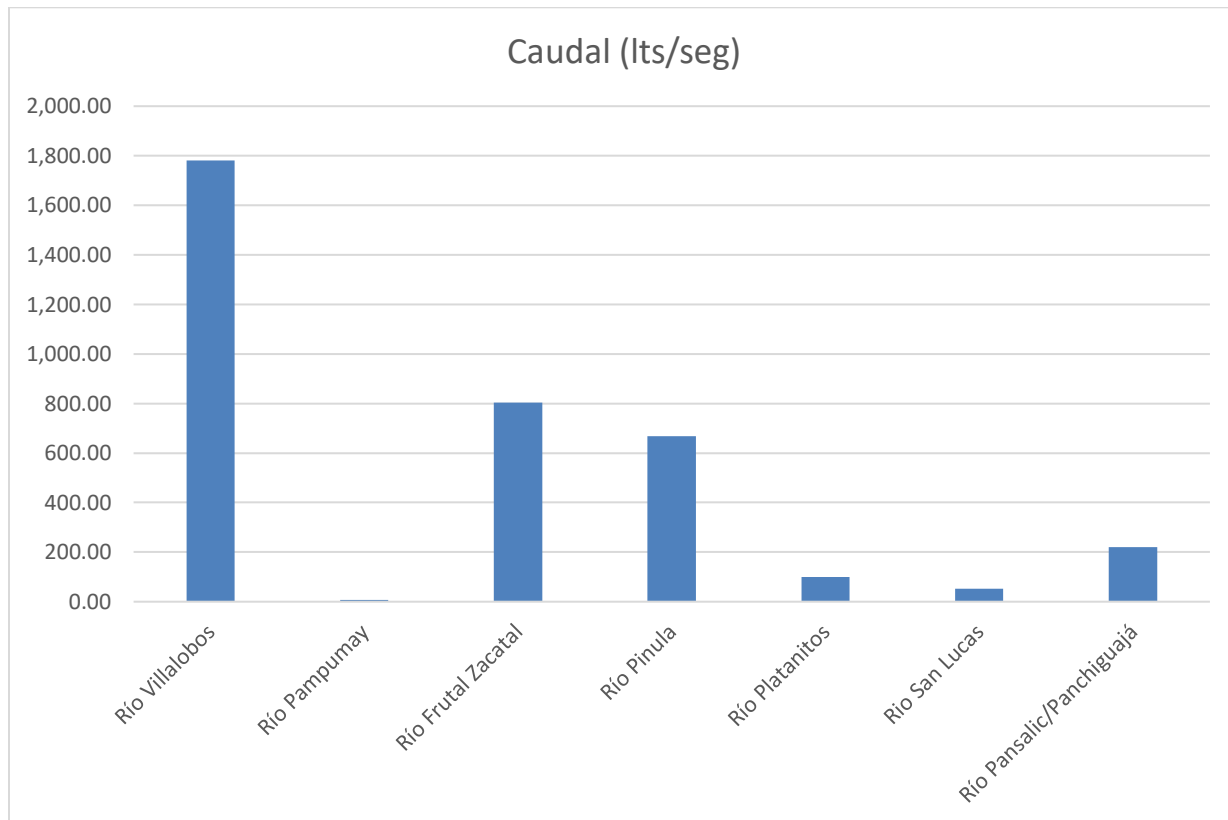
Esta variabilidad de caudales, además de reflejar procesos naturales estacionales, pone en evidencia la fragilidad del sistema hidrológico ante presiones antrópicas, destacando la urgencia de adoptar estrategias de ordenamiento territorial, conservación de la cobertura vegetal y control de descargas no reguladas para mitigar los efectos de la urbanización sobre el ciclo hidrológico de la cuenca.





Autoridad para el Manejo
**Sustentable de la Cuenca y
del Lago de Amatitlán**

Gráfica 5: Caudal (lt/s) de los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.

Nutrientes

El nitrógeno y fósforo son dos de los macronutrientes más importantes en los ecosistemas acuáticos, ya que son componentes esenciales de los organismos, intervienen en los ciclos del carbono en medios acuáticos, son determinantes para la producción primaria, entre otros aspectos que los hacen imprescindibles para este tipo de ecosistemas. Altos valores de estos macronutrientes pueden traer consecuencias negativas a los ecosistemas acuáticos, entre estos: eutrofización, anoxia, pérdida de biodiversidad, (Weigelhofer *et al.*, 2018).

- **Nitrógeno Total (NT), Nitrógeno de nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$), Nitrógeno de nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$) y de amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$)**

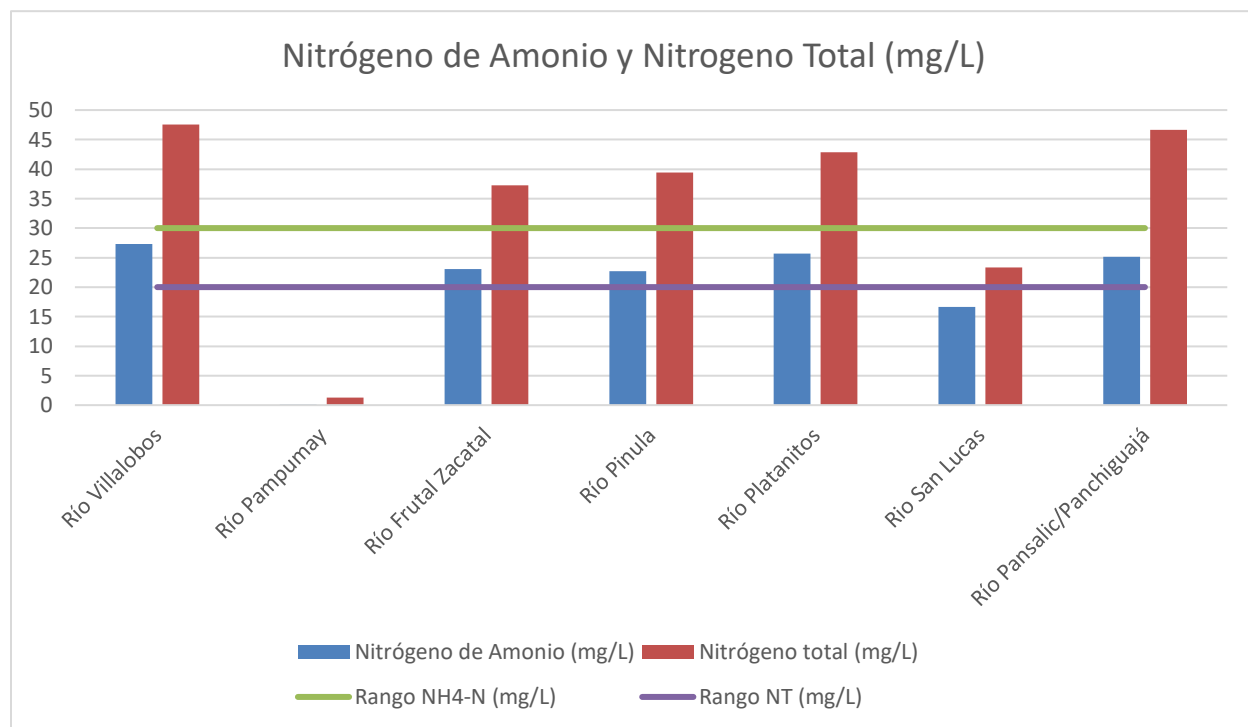
Las gráficas 6 y 7 ilustran la distribución de las diferentes formas de nitrógeno analizadas nitrógeno total (NT), nitrógeno de amonio ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitratos ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) y nitritos ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) en los principales ríos de la cuenca del lago de Amatitlán durante el mes de abril. Las concentraciones registradas evidencian una fuerte carga de nutrientes en varios puntos de monitoreo, reflejando condiciones que podrían promover procesos de eutrofización acelerada.

El nitrógeno total mostró niveles elevados en la mayoría de los sistemas lóticos monitoreados, con excepción del río Pampumay, que presentó el valor más bajo de 1.2498 mg/L, ligeramente inferior al registrado el mes anterior. Esta concentración sugiere una baja presión antrópica directa en este afluente, posiblemente asociada a una menor densidad poblacional, escasa actividad industrial y mejor cobertura vegetal en su cuenca de drenaje. En contraste, el río Villalobos reportó una concentración de NT de 47.5284 mg/L, representando el valor más alto entre todos los ríos evaluados y superando ampliamente los niveles comúnmente observados en aguas residuales domésticas no tratadas, los cuales rondan los 20 mg/L (Biard *et al.*, 2017). Este incremento drástico en comparación al mes anterior refuerza la hipótesis del ingreso continuo y no regulado de vertidos domésticos e industriales a este cuerpo de agua, lo cual constituye una amenaza significativa para la calidad del agua del lago receptor.

Las concentraciones de nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) también fueron altas, con un rango de variación entre 0.0164 mg/L y 27.3396 mg/L. Nuevamente, el río Villalobos se destacó como el cuerpo de agua con la mayor carga de amonio, si bien sus valores aún se encuentran por debajo del límite comúnmente asociado a aguas residuales sin tratamiento (≈ 30 mg/L, Biard *et al.*, 2017). Sin embargo, incluso valores moderadamente altos de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ pueden representar un riesgo para la biota acuática, ya que el amonio en condiciones de pH y temperatura elevadas puede convertirse en amoníaco libre (NH_3), una forma altamente tóxica para organismos acuáticos.

La presencia de nitratos y nitritos, aunque generalmente menor en concentración en comparación con NT y $\text{NH}_4^+\text{-N}$, contribuye igualmente a la carga total de nitrógeno y puede actuar como indicadores de procesos de nitrificación y descomposición orgánica en los cuerpos de agua.

Gráfica 6: Valores de nitrógeno total (N) y amonio ($\text{NH}_3\text{-N}$) de los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.

Las concentraciones de nitrato ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) y nitrito ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) registradas en los ríos de la cuenca del lago de Amatitlán durante el mes de abril revelan valores relativamente bajos en comparación con los límites máximos comúnmente considerados críticos para ecosistemas de agua dulce. El río San Lucas presentó las concentraciones más elevadas de ambos compuestos nitrogenados, con valores de 1.0387 mg/L para $\text{NO}_3^-\text{-N}$ y 0.1371 mg/L para $\text{NO}_2^-\text{-N}$. Si bien estos niveles se encuentran por debajo de los umbrales establecidos para provocar efectos adversos severos como el valor de referencia de 2 mg/L de $\text{NO}_3^-\text{-N}$ propuesto por Camargo et al. (2005) para prevenir impactos sobre anfibios, peces y macroinvertebrados, su presencia no debe considerarse inocua.

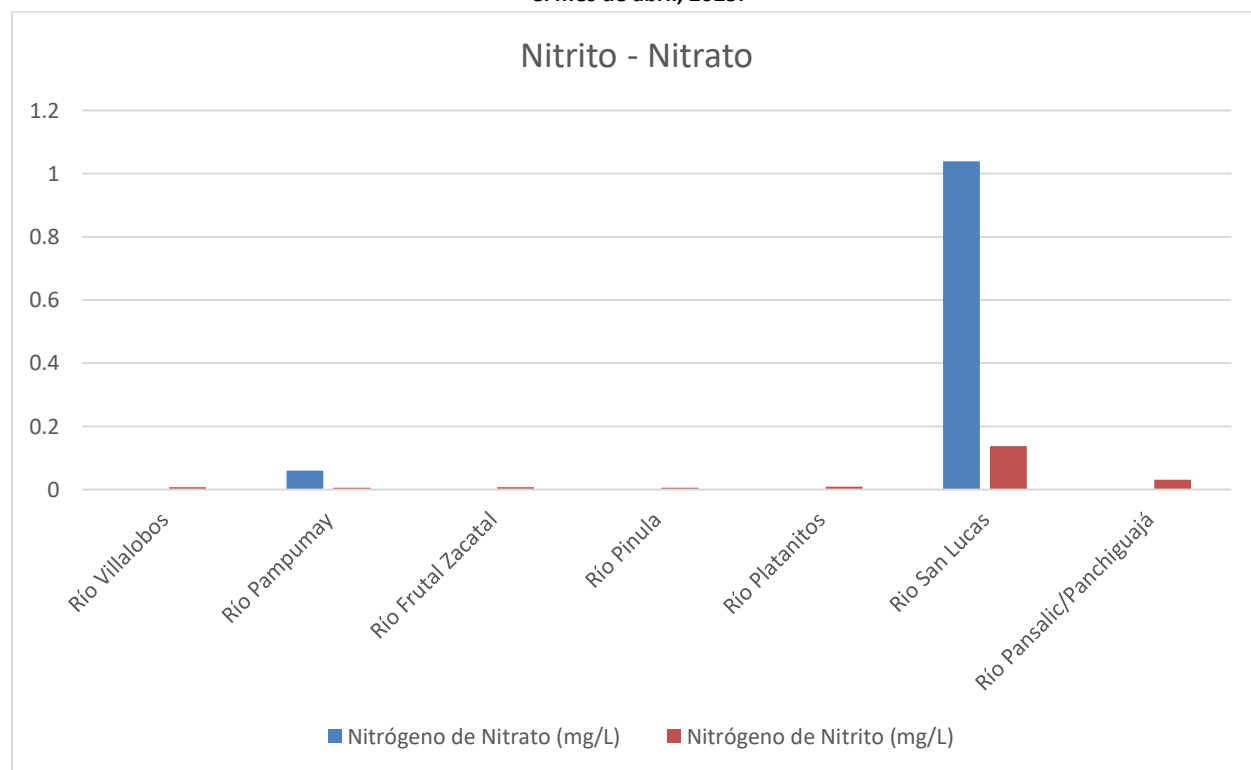
En particular, el valor de nitrato registrado en el río San Lucas supera el umbral de 0.1 mg/L que, según diversos estudios, puede ser indicativo de una presión antrópica significativa, especialmente en cuerpos de agua sometidos a actividades agrícolas, urbanas o con presencia de descargas domésticas. Estos niveles,

aunque no críticos, pueden generar condiciones subóptimas para el desarrollo y reproducción de la fauna acuática sensible, contribuyendo además al proceso de eutrofización si se acumulan en cuerpos receptores como el lago de Amatitlán.

Por su parte, los valores de nitrito, aunque más bajos que los de nitrato, revisten especial preocupación debido a su toxicidad aguda en organismos acuáticos, incluso a concentraciones moderadas. La conversión microbiana de amonio a nitrato a través del proceso de nitrificación implica un paso intermedio de formación de nitrito, cuya presencia podría reflejar desequilibrios en este proceso debido a cargas excesivas de materia orgánica o condiciones de oxigenación inadecuadas.

En conjunto, aunque las concentraciones de NO_3^- -N y NO_2^- -N no superan los límites más restrictivos establecidos para ecosistemas acuáticos, su incremento relativo en ciertos puntos de monitoreo como el río San Lucas sugiere la necesidad de un monitoreo continuo y medidas preventivas para evitar un deterioro mayor en la calidad del agua y en la integridad ecológica de la cuenca.

Gráfica 7: Valores de nitratos (NO_3^- -N) y nitritos (NO_2^- -N) de los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.

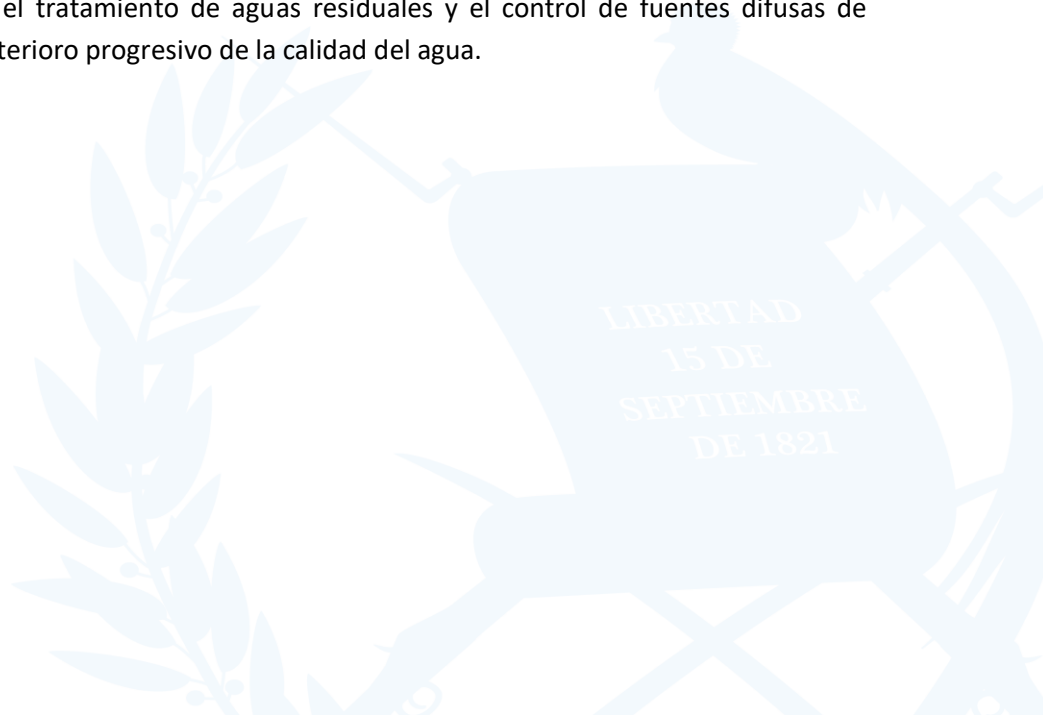


- **Fósforo total (PT) y Ortofosfatos (PO₄-P):**

En la Gráfica No. 8 se muestran los valores registrados de fósforo total (PT) y ortofosfatos (PO₄³⁻-P) durante el mes de abril en los distintos puntos de monitoreo de los ríos de la cuenca del lago de Amatitlán. Las concentraciones de PT oscilaron entre 0.1075 y 5.2029 mg/L, lo que indica una notable variabilidad espacial en la carga de fósforo disuelto. Conforme a Boyd (2015), cuerpos de agua con concentraciones de PT superiores a 0.5 mg/L se clasifican como eutróficos, condición que implica un riesgo elevado de proliferación de algas y cianobacterias debido al exceso de nutrientes.

El valor más alto de PT fue registrado en el río Platanitos, con 5.2029 mg/L, lo cual representa un estado hipertrófico severo y sugiere una fuerte influencia de fuentes puntuales de contaminación, particularmente aguas residuales urbanas sin tratamiento adecuado. Este valor se encuentra cercano al promedio reportado por Neal & Jarvie (2005) para aguas residuales domésticas (6.69 mg/L), lo que refuerza la hipótesis de que la principal fuente de fósforo en este punto proviene de descargas de origen antrópico, dado que el río Platanitos atraviesa zonas densamente urbanizadas con escasa infraestructura de saneamiento. En contraste, el río Pampumay presentó la concentración más baja de fósforo total (0.1075 mg/L), disminuyendo levemente respecto al mes anterior. Esta cifra se encuentra dentro de un rango que no representa riesgo inmediato de eutrofización, lo que podría explicarse por el menor grado de urbanización en su área de influencia y la relativa conservación de su cobertura vegetal ribereña.

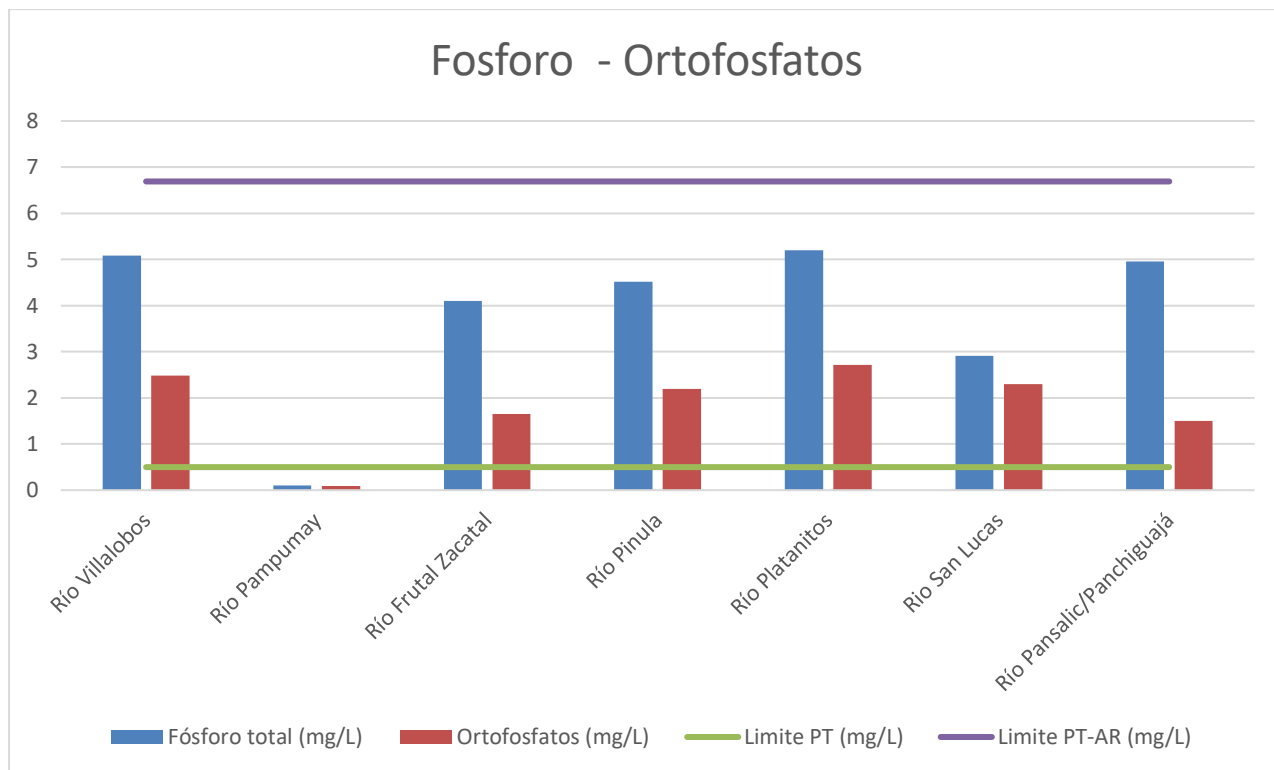
Los datos evidencian una carga significativa de fósforo en los ríos más urbanizados de la cuenca, lo que pone en riesgo la estabilidad ecológica del sistema acuático. Es imperativo implementar acciones de mitigación, como la mejora en el tratamiento de aguas residuales y el control de fuentes difusas de contaminación, para evitar el deterioro progresivo de la calidad del agua.





Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán

Gráfica 8: Valores de fósforo total (P) y ortofosfatos (PO₄-P) de los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.

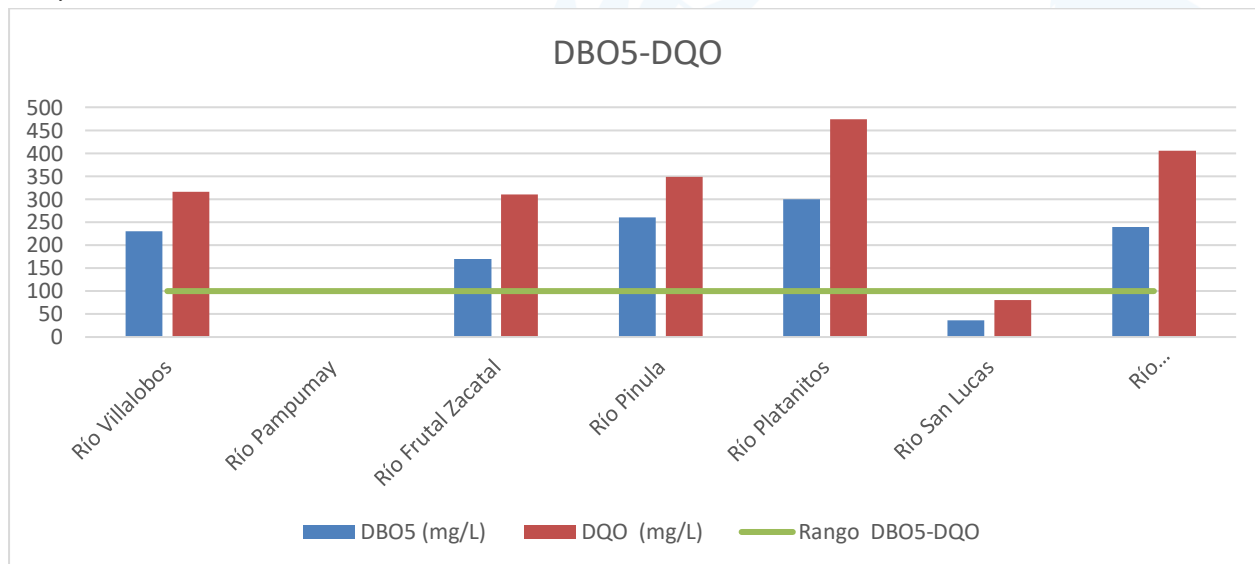
Otros análisis

Demanda Bioquímica (DBO₅) y Química de Oxígeno (DQO)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO) son parámetros sanitarios evalúan indirectamente la contaminación que existe en un cuerpo de agua y lo realizan por la medición de la cantidad de oxígeno necesario para degradar la materia orgánica que recibe. Las fuentes de materia orgánica pueden ser: descargas de aguas residuales, fuentes naturales (caída de hojas, insectos, animales, etc.), por actividades agrícolas (escorrentía), etc. (Brenniman, 1999; Rao, 2006). El cuerpo de agua que presento altos niveles de DBO₅ y DQO fue el Río Platanitos (Gráfica 9). Con respecto al mes anterior, los niveles de DBO₅ y DQO aumentaron drásticamente, registrándose valores para este cuerpo de agua de (300, 474 mg/L). Aunque cada país tiene legislaciones específicas donde se establecen los rangos o límites permitidos de DBO₅ y DQO, se concuerda que valores >100 mg/L son considerados como altos y que los ecosistemas acuáticos donde se reportan estos valores reciben una gran contaminación orgánica. Cabe destacar el comportamiento que tuvo este mes el Río Platanitos ya que está por encima de los niveles que normalmente se mantiene, esto puede deberse a la cantidad de materia orgánica que se vierte en este río y que proviene de aguas residuales.

En contraste el Río Pampumay fue el que presentó los niveles más bajos de DBO₅ y DQO, llegando a detectar < 2 y < 5 mg/L, manteniéndose con relación a los datos del mes anterior. Esto indica que la contaminación por descargas residuales es baja y que probablemente los valores detectados puedan depender de la cantidad de materia orgánica o mejoras en sistemas de tratamiento ya que es un río que tiene parches considerables de vegetación ribereña o bien, pueden ser causados por las actividades agrícolas cercanas a este ecosistema acuático.

Gráfica 9: Valores de DBO₅ y DQO de los ríos muestreados de la Cuenca del lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.



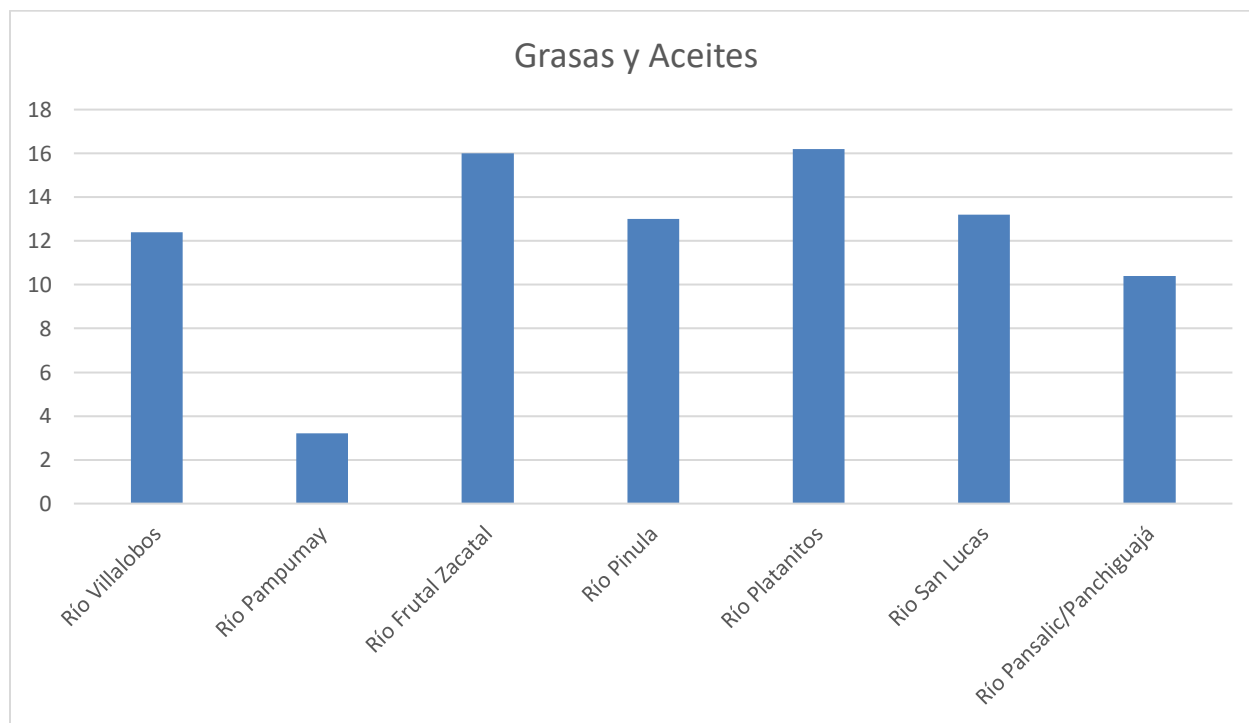
Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.

Grasas y aceites

Las grasas y aceites son un grupo de sustancias que un solvente puede extraer y que no volatilizan durante la evaporación del solvente a 100°C. Este grupo se ha monitoreado debido al impacto ecológico que pueden tener en los ecosistemas acuáticos, ya que, por ejemplo, en grandes cantidades suelen acumularse en la superficie, haciendo que el intercambio de oxígeno entre la atmósfera y el agua sea difícil, bajando de este modo los niveles de oxígeno (Khan & Ali, 2018).

El río Platanitos presento los valores más altos (16.2 mg/L) de todos los ríos tributarios monitoreados (Gráfica 10), mientras que el Río Pampumay fue el que presentó los valores más bajos (3.2 mg/L) aumentando levemente con respecto al mes anterior. Este tipo de contaminación, además de originarse en descargas del tipo domiciliario, también puede originarse de descargas industriales no tratadas (producción de aceites comestibles, productos lácteos, desechos de rastros, desechos o producción de material frigorífico, etc.) (Khan & Ali, 2018). Cabe destacar que este mes aumentaron los datos de algunos de los ríos comparados con el mes anterior.

Gráfica 10: Valores de grasas y aceites (mg/L) en los ríos monitoreados de la cuenca del lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.

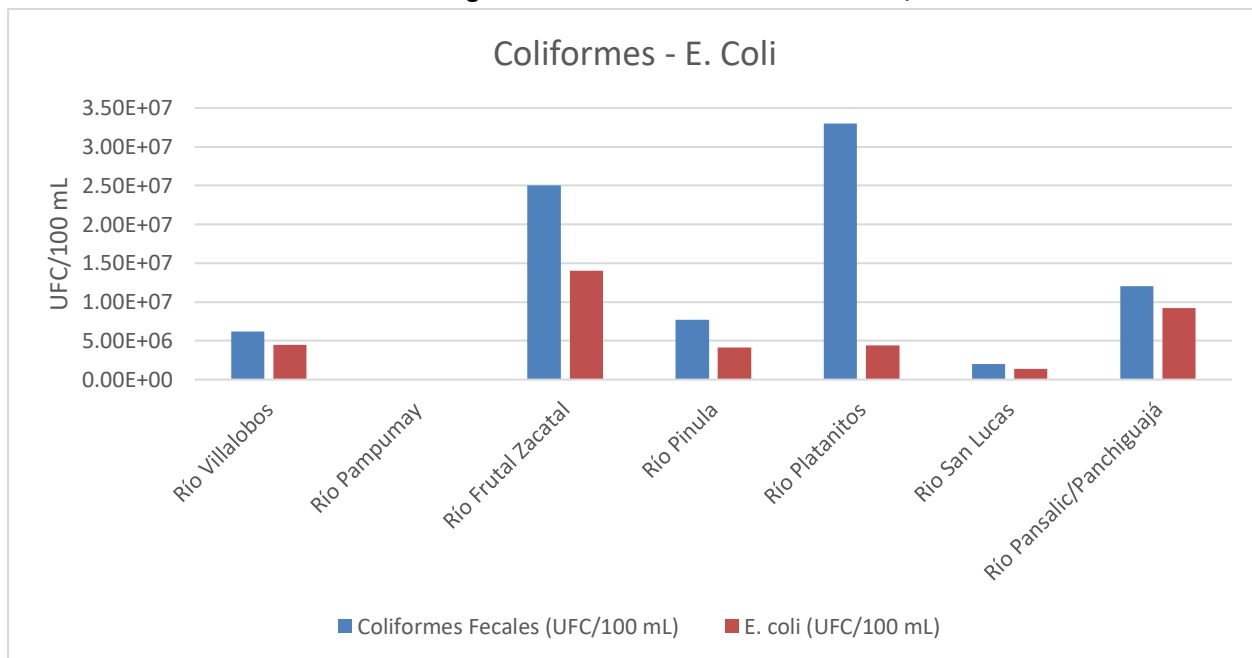
Parámetros biológicos de los ríos tributarios de la cuenca del Lago de Amatitlán.

- Microbiología:**

Los análisis microbiológicos ayudan a conocer cuál es el estado de un cuerpo de agua en cuanto a contaminación fecal se refiere, específicamente en el análisis de coliformes fecales y *Escherichia coli*, los cuales han sido ampliamente utilizados para analizar la calidad de agua de un ecosistema (Gerba, 2009). Los resultados correspondientes para el mes de abril nos indica que el río con mayor contaminación fecal fue el Río Platanitos, teniendo valores de coliformes fecales $3.30\text{E}+07$ UFC/100 ml. teniendo un considerable aumento con respecto al mes anterior. Los restantes ríos presentan considerables aumentos con respecto al mes de marzo de coliformes en sus aguas. La presencia de altas cantidades de coliformes fecales y *E. coli* indican contaminación fecal reciente, que entra en los ecosistemas acuáticos sin ningún tratamiento previo. Dichos patógenos se encuentran en grandes cantidades en los intestinos de mamíferos y otros organismos, por lo que la relación es directa con las fuentes que las producen (aguas residuales de áreas urbanas e industriales) (Reddy, 2011).

En el mes de Abril el Río que presento bajos niveles de este tipo de contaminación es el Río Pampumay con $5.70\text{E}+02$ UFC/100 aumentando considerablemente con respecto al mes anterior, esto significa que no se puede hacer uso para consumo humano, estos pueden llegar a representar un problema de salud si se utiliza comúnmente el agua para actividades de recreación o consumo, etc.

Gráfica 11: Valores de Coliformes fecales y *Escherichia coli* (UFC/100 ml) detectados en los ríos monitoreados en la Cuenca del Lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.

CAPÍTULO II: INFORME DEL ESTADO ECOLÓGICO DEL LAGO DE AMATITLÁN

La Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán, a través de la División de Control, Calidad Ambiental y Manejo de Lagos realiza el monitoreo constante de las características fisicoquímicas del agua del Lago de Amatitlán y sus afluentes.

Para el monitoreo de la calidad de agua y el estado ecológico del lago de Amatitlán del mes de abril 2025, se realizó el monitoreo y colecta de muestras en 6 puntos de muestreo en el lago. Cada uno de estos puntos presentan características físicas particulares y condiciones específicas, para lo cual, las muestras de agua se toman a distintas profundidades (columna de agua): 0 m, 5 m, 10 m y 20 m (ver cuadro 5 y figura 2).

Cuadro 5: Puntos de muestreo establecidos para el monitoreo de la calidad de agua del lago de Amatitlán.

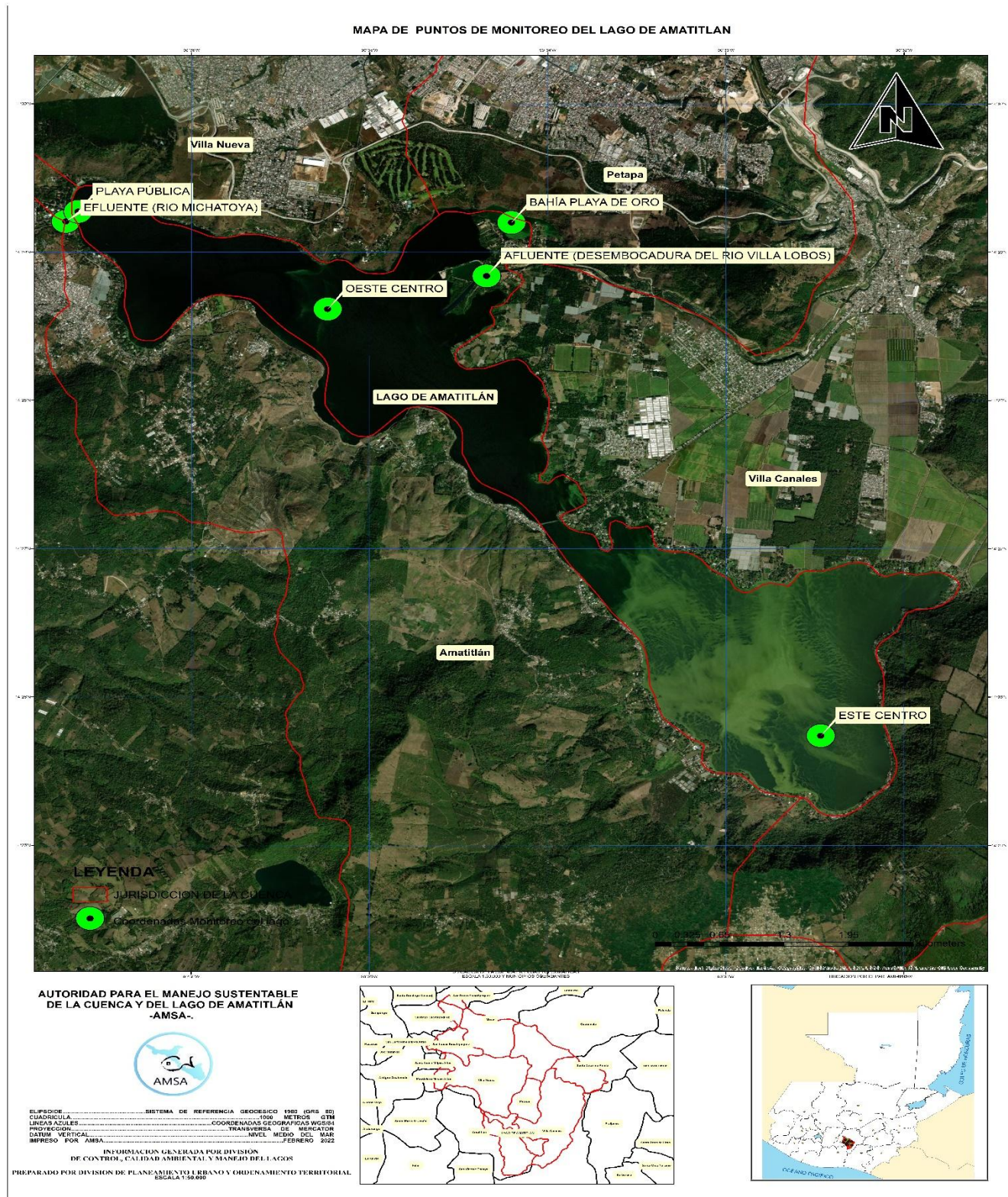
	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS	0 METROS	5 METROS	10 METROS	20 METROS
1.	Bahía playa de oro	14°29'12.0" 90°34'12.2"	X	X		
2.	Este centro	14°25'44.4" 90°32'28.0"	X	X	X	X
3.	Oeste centro	14°28'37.0" 90°35'14.1"	X	X	X	X
4.	Afluente (desembocadura del rio villa lobos)	14°28'50.4" 90°34'20.6"	X			
5.	Efluente (Rio michatoya)	14°29'12.4" 90°36'42.3"	X			
6.	Playa pública	14°29'16.4" 90°36'38.2"	X			

Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.

Para cada uno de los puntos muestreados se realizó el análisis de los siguientes parámetros:

- *In situ*: potencial de hidrógeno, conductividad, oxígeno disuelto, profundidad máxima, sólidos disueltos totales, temperatura, salinidad y transparencia
- Fisicoquímicos: color aparente, color verdadero, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), nutrientes (fósforo total, ortofosfatos, nitrógeno de amonio, nitrógeno de nitrato, nitrógeno de nitrito, nitrógeno total) silicatos, solidos suspendidos totales, turbiedad, metales pesados y contaminantes emergentes.
- Microbiológicos: coliformes fecales
- Biológicos: biovolumen de microalgas (cianobacterias), conteos de fitoplancton y zooplancton.
- Además de colecta de peces e identificación para análisis.

Figura 2: Puntos de muestreo del monitoreo de calidad del agua del lago de Amatitlán



Cuadro 6: Parámetros *in situ* de los seis puntos de monitoreo que se tienen en el lago de Amatitlán, abril 2025.

Fecha	Hora	Sitio	Profundidad (mts)	pH (U)	T (°C)	Cond. (μS/cm)	Sali. (%)	TDS (mg/L)	O ₂ (mg/L)	O ₂ (%)	Transparencia (m)
1/04/2025	09:50	Este centro	0	9.69	25.62	603.1	0.28	302	13.53	189.9	1.10
1/04/2025	09:58		5	9.44	24.51	600.0	0.27	300	9.48	131.2	NA
1/04/2025	10:06		10	8.63	23.04	609.7	0.28	305	0.00	0.0	NA
1/04/2025	10:17		20	7.68	22.11	616.8	0.28	308	0.00	0.0	NA
1/04/2025	10:55	Bahía Playa de Oro	0	8.68	27.50	647.9	0.30	324	5.17	75.5	0.20
1/04/2025	11:03		5	7.88	24.04	642.2	0.30	321	0.00	0.0	NA
1/04/2025	11:41	Río Villalobos	0	7.91	26.95	819.3	0.38	410	2.98	43.1	NA
1/04/2025	12:23	Oeste centro	0	9.30	26.37	682.7	0.31	341	16.23	231.9	0.65
1/04/2025	12:33		5	8.79	24.64	687.1	0.32	344	4.89	68.9	NA
1/04/2025	12:46		10	8.15	23.75	688.5	0.32	344	0	0	NA
1/04/2025	12:58		20	7.42	22.44	667.6	0.31	334	0	0	NA
1/04/2025	13:24	Río Michatoya	0	8.71	25.60	691	0.32	346	14.85	211.6	0.2
1/04/2025	13:34	Playa pública	0	9.13	26.42	682	0.31	341	16.34	229.8	0.4

Fuente: División de Control, calidad ambiental y manejo del lago, 2025.

Cuadro 7: Parámetros fisicoquímicos de los seis puntos de monitoreo que se tienen en el lago de Amatitlán, abril 2025.

Sitio	Prof. (m)	Color aparente (U Pt-Co)	Color verdadero (U Pt-Co)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Ortofosfatos (mg/L)	Nitrógeno de amonio (mg/L)	Nitrógeno de nitrato (mg/L)	Nitrógeno de nitrito (mg/L)	Nitrógeno total (mg/L)
Este centro	0	124	7	8	39	0.1661	0.1013	0.0346	< 0.0010	< 0.0010	1.4826
	5	82	5	6	30	0.1470	0.1030	0.0231	< 0.0010	< 0.0010	1.3080
	10	47	5	3	7	0.1843	0.1885	0.1057	< 0.0010	0.0113	1.2043
	20	49	2	7	15	0.3646	0.3499	1.0179	< 0.0010	0.0091	2.0149
Bahía Playa de Oro	0	422	14	24	83	0.4404	0.0923	0.0601	< 0.0010	< 0.0010	4.5717
	5	82	10	6	7	0.2375	0.1961	0.8060	< 0.0010	< 0.0010	1.7372
Río Villalobos (desembocadura)	0	1,640	73	105	159	2.3926	1.0646	18.3914	< 0.0010	0.0391	28.0168
Oeste centro	0	160	15	9	39	0.5126	0.3903	0.0288	0.5551	0.0758	3.0318
	5	83	13	5	18	0.5096	0.4281	0.1556	0.8739	0.0970	2.4713
	10	75	10	5	7	0.5691	0.4898	0.4598	0.7722	0.0831	2.4616
	20	79	13	10	12	0.8915	0.7922	2.5920	< 0.0010	0.0010	4.0150
Río Michatoya	0	1,740	34	160	780	3.5812	0.3669	0.1653	0.5112	0.0970	62.0430
Playa pública	0	203	17	18	74	0.6459	0.3888	0.0247	0.6068	0.1823	4.7161

Fuente: División de Control, calidad ambiental y manejo del lago, 2025.

Cuadro 8: Parámetros fisicoquímicos, análisis microbiológicos y de microcistinas totales y disueltas de los puntos de monitoreo que se tienen en el lago de Amatitlán, abril 2025.

Sitio	Profundidad (m)	Silicatos (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Grasas y aceites (mg/L)	Microcistinas totales (ug/L)	Microcistinas disueltas (ug/L)	Coliformes Fecales (NMP/100 mL)
Este centro	0	6.33	21	32	7.0	3.0966	<0.3	<1.8
	5	8.38	17	17	ND	8.443	0.942	1.20E+01
	10	13.21	3	3	ND	3.0966	<0.3	4.90E+06
	20	14.35	3	5	ND	6.1437	1.7525	7.90E+03
Bahía Playa de Oro	0	66.54	46	75	7.2	6.1437	1.7525	1.20E+01
	5	67.89	3	7	ND	8.1198	4.0661	9.20E+02
Río Villalobos (desembocadura)	0	60.68	217	210	8.4	ND	ND	4.90E+06
Oeste centro	0	7.48	23	34	5.2	7.6745	1.2398	7.90E+03
	5	10.03	6	9	ND	ND	ND	ND
	10	12.89	7	6	ND	ND	ND	ND
	20	22.30	1	12	ND	ND	ND	ND
Río Michatoya	0	8.53	533	621	5.6	8.1198	4.0661	2.20E+02
Playa pública	0	8.43	41	65	7.2	6.5949	2.3463	9.20E+02

Fuente: División de Control, calidad ambiental y manejo del lago, 2025.

Cuadro 9: Análisis de metales pesados registrados en los puntos de monitoreo que se tienen en el lago de Amatitlán, abril 2025.

Sitio	Profundidad (m)	Arsénico (mg/L)	Cadmio (mg/L)	Cromo total (mg/L)	Plomo (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Cobre (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinc (mg/L)	Hierro (mg/L)
Este centro	0	0.018	0.0012	<0.003	0.010	ND	ND	ND	ND	ND
	5	0.017	0.0011	<0.003	0.009	ND	<0.1569	ND	ND	ND
	10	0.017	0.0010	<0.003	0.009	ND	ND	ND	ND	ND
	20	0.014	0.0010	ND	0.008	ND	<0.1569	ND	ND	ND
Bahía Playa de Oro	0	0.025	0.0008	<0.003	0.008	ND	ND	ND	ND	ND
	5	0.023	0.0007	<0.003	0.008	ND	ND	ND	ND	ND
Río Villalobos (desembocadura)	0	0.042	0.0007	<0.003	0.010	ND	ND	ND	ND	ND
Oeste centro	0	0.021	0.0009	<0.003	0.010	ND	<0.1569	ND	ND	ND
	5	0.018	0.0008	<0.003	0.011	ND	<0.1569	ND	ND	ND
	10	0.020	0.0010	<0.003	0.010	ND	<0.1569	ND	ND	ND
	20	0.011	0.0008	<0.003	0.007	ND	<0.1569	ND	ND	ND
Río Michatoya	0	0.013	0.0007	<0.003	0.007	ND	ND	ND	ND	ND
Playa pública	0	0.011	0.0008	<0.003	0.008	ND	ND	ND	ND	ND

Fuente: División de Control, calidad ambiental y manejo del lago, 2025.

Parámetros Fisicoquímicos de los puntos de monitoreo establecidos en el Lago de Amatitlán

Parámetros *in situ*

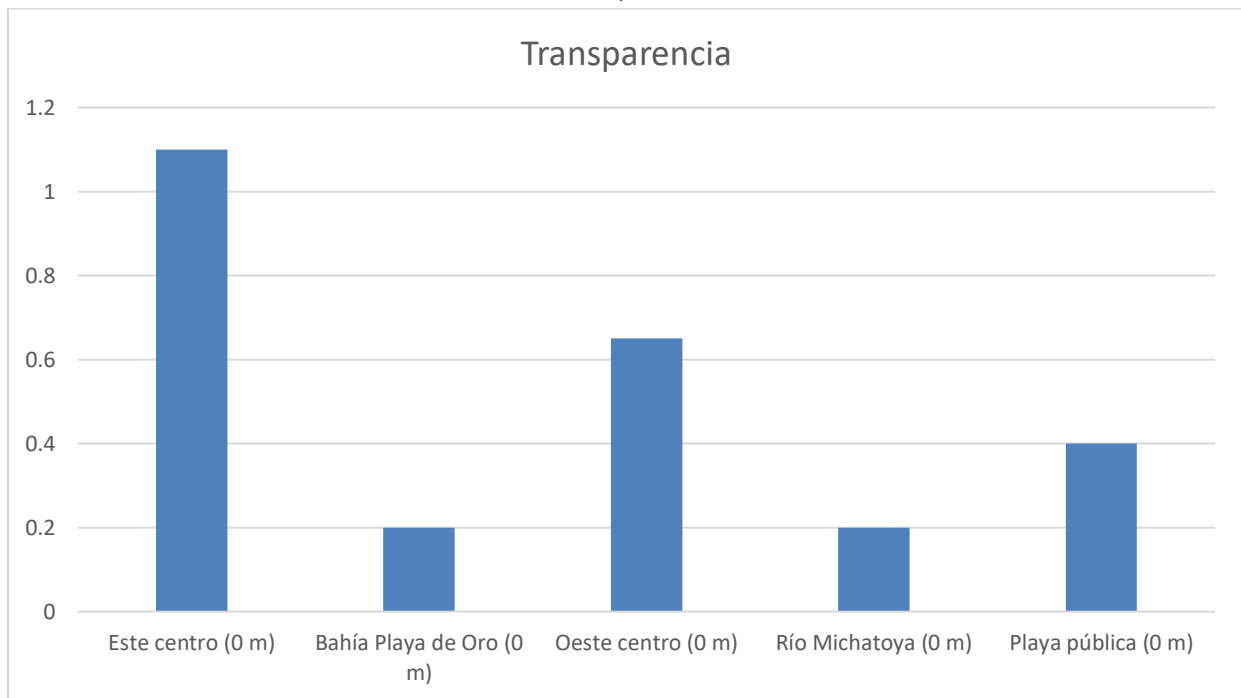
- **Transparencia:**

La medición de la transparencia del agua en un ecosistema acuático, especialmente en lagos, es uno de los parámetros más utilizados para determinar su estado trófico (Lambou et al., 1982). Generalmente, los lagos que presentan altas concentraciones de nutrientes y una elevada producción de biomasa algal muestran valores reducidos de transparencia.

Durante el mes evaluado, la mayoría de los puntos de monitoreo en el lago de Amatitlán registraron transparencias inferiores a 1 metro, determinadas mediante el uso del disco Secchi. La menor transparencia se observó en los puntos "Río Michatoya" y "Bahía Playa de Oro", con valores de apenas 0.20 metros. Esta disminución en la transparencia, en comparación con el mes anterior, puede atribuirse al aumento de materia orgánica e inorgánica suspendida, favorecido por la época de estiaje ya establecida.

Por otro lado, el valor más alto de transparencia se registró en el punto "Este Centro", con una profundidad de 1.10 metros. Estas mediciones de baja transparencia ubican al lago de Amatitlán en un estado trófico caracterizado por altas densidades de algas y macrófitas acuáticas, de acuerdo con lo reportado por Pavluk y van der Vaate (2008).

Gráfica 12: Transparencia (m) registrada en cinco puntos de monitoreo del lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.

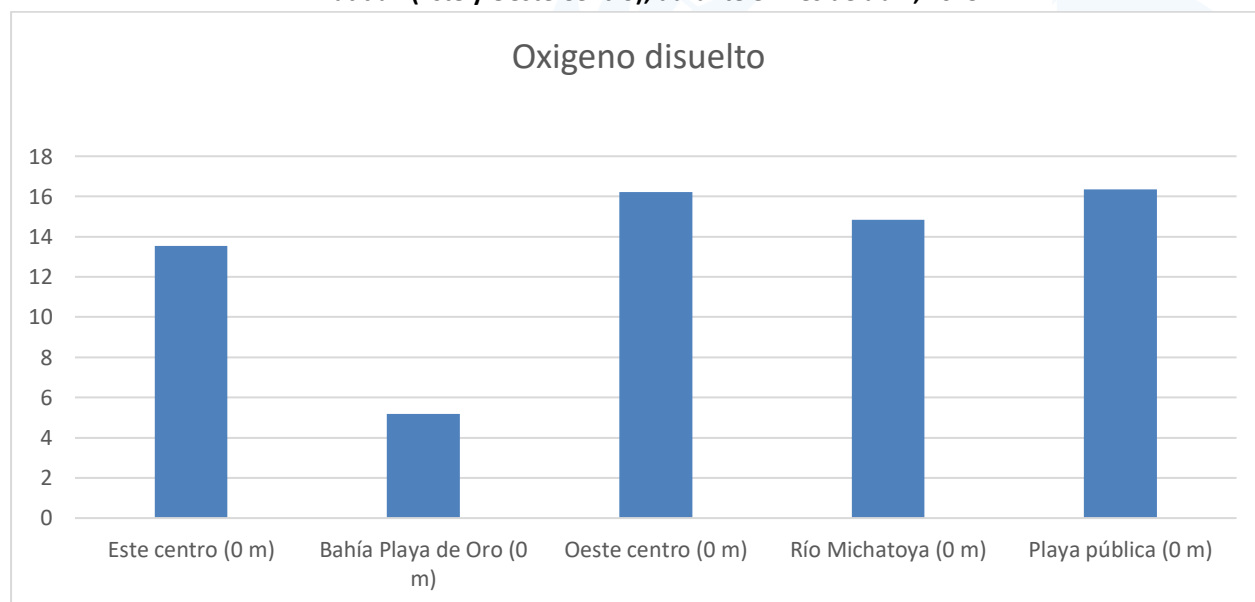
- **Oxígeno disuelto:**

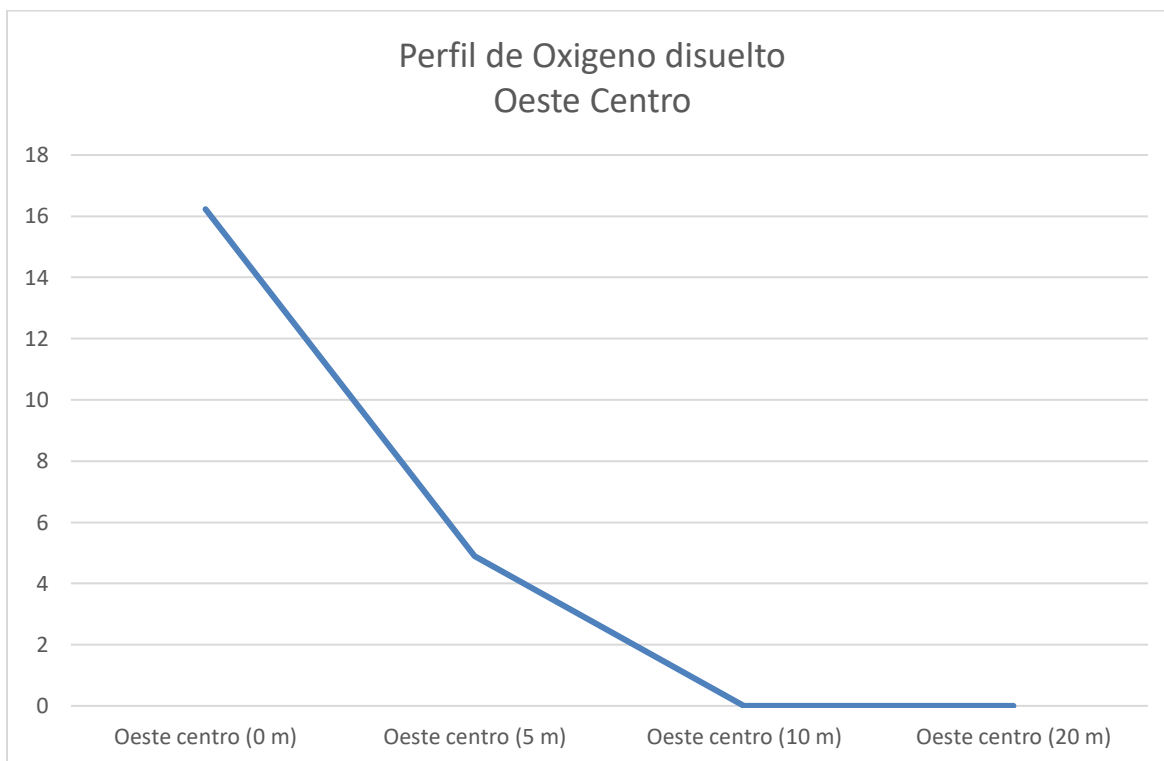
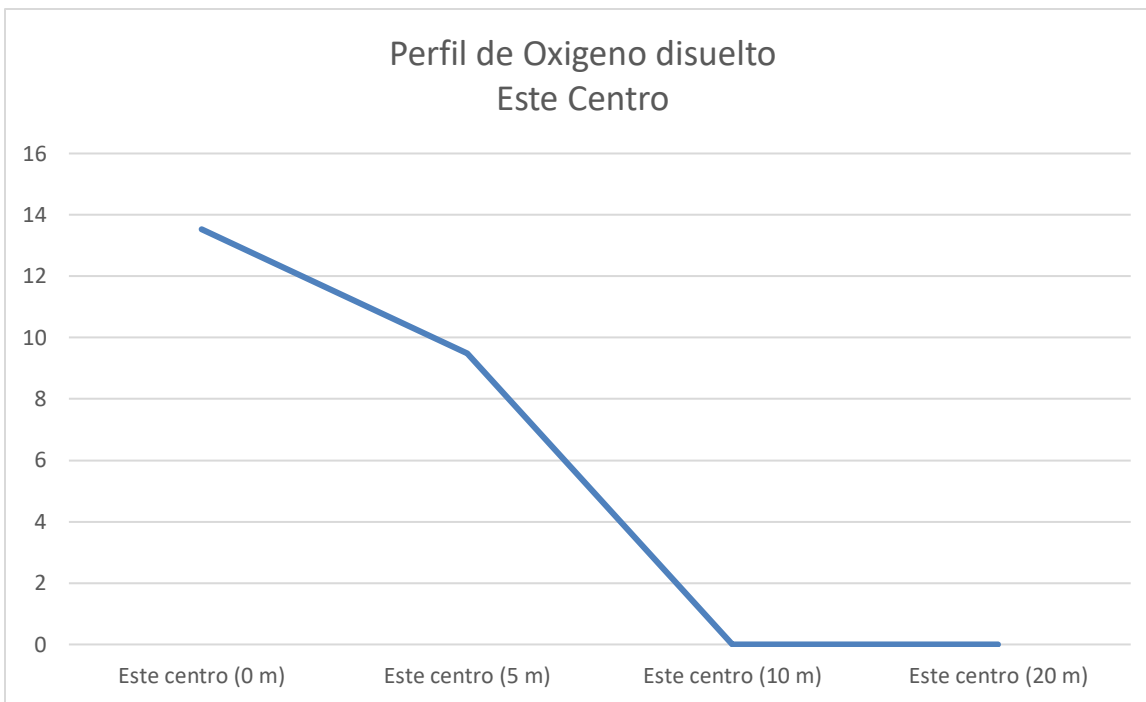
El oxígeno disuelto (OD) es uno de los parámetros fundamentales en la evaluación de la calidad del agua en ecosistemas acuáticos, dado que numerosos organismos dependen directamente de su disponibilidad para sobrevivir y desarrollarse. Entre los grupos biológicos identificados en el lago de Amatitlán que requieren oxígeno para sus procesos vitales se encuentran los peces, moluscos, macroinvertebrados y el zooplancton. Estos organismos desempeñan un papel clave en el mantenimiento y equilibrio de las redes tróficas del ecosistema lacustre.

Los datos registrados durante el mes de abril muestran que, en la mayoría de los puntos de monitoreo en el estrato superficial (epilimnion), los valores de oxígeno disuelto superaron los 10 mg/L. La única excepción fue el punto "Bahía Playa de Oro", que presentó un valor notablemente inferior de 5.17 mg/L.

La gráfica 13 ilustra los perfiles de profundidad de oxígeno disuelto para los puntos "Este Centro" y "Oeste Centro". En "Este Centro" se observó un incremento leve en los niveles de OD en la superficie (0 m) con respecto al mes anterior, alcanzando un valor de 13.53 mg/L. Sin embargo, los valores disminuyen progresivamente con la profundidad hasta llegar a niveles anóxicos en el hipolimnion. Este patrón es característico de lagos eutróficos o hipereutróficos, donde la estratificación térmica provoca la separación de capas de agua y limita el intercambio de oxígeno en las zonas profundas (Thomas & Beim, 1992). En el punto "Oeste Centro", los valores de OD se vuelven anóxicos a partir de los 10 metros de profundidad, con registros de 0 mg/L. Esta condición podría estar asociada a las elevadas concentraciones de amonio (NH_4^+) observadas en este mismo sitio (ver Cuadro 17). Durante el proceso de nitrificación, que implica la oxidación del NH_4^+ a NO_2^- y posteriormente a NO_3^- , la actividad microbiana consume una cantidad significativa de oxígeno disuelto en la columna de agua (Pauer & Auer, 2000), contribuyendo así a la depleción de oxígeno en las zonas profundas.

Gráfica 13: Perfil de oxígeno disuelto (mg/L) en los puntos de monitoreo que tienen la profundidad en el lago de Amatitlán (Este y Oeste Centro), durante el mes de abril, 2025





Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.

- **Temperatura:**

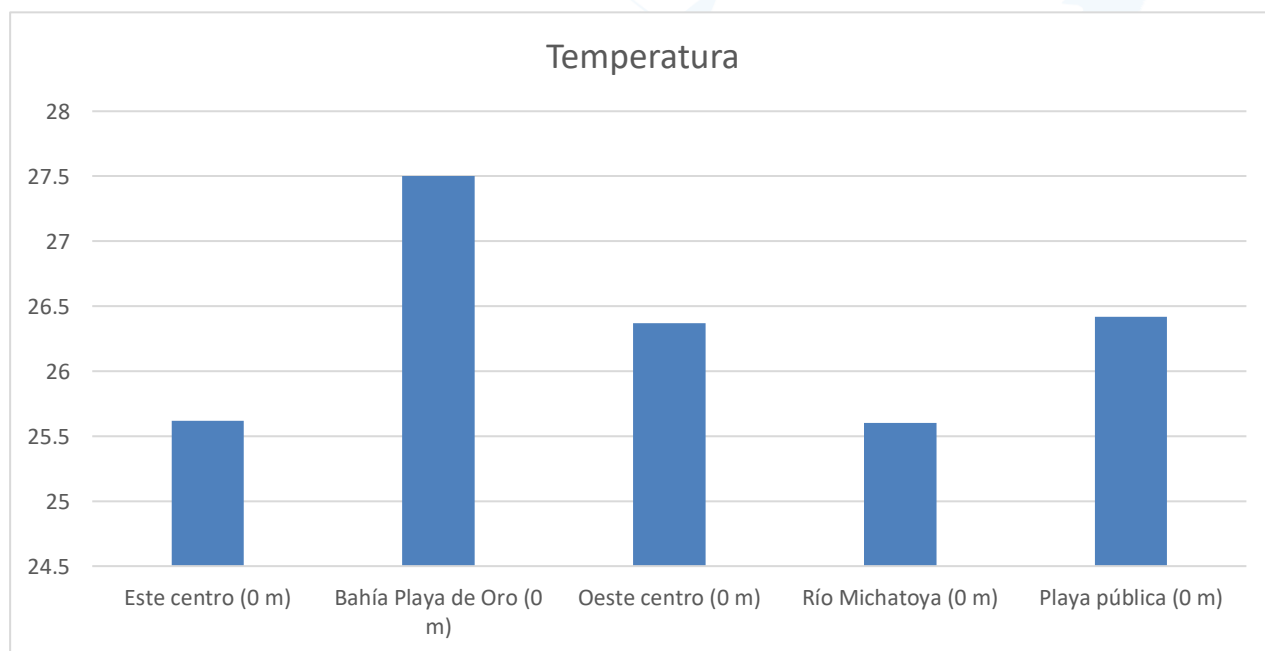
La temperatura es uno de los parámetros más relevantes en la evaluación de los ecosistemas acuáticos, dado que influye de manera directa en la dinámica de otros factores fisicoquímicos y biológicos. En el lago de Amatitlán, las temperaturas registradas en los estratos superficiales de los puntos de monitoreo durante el mes de abril oscilaron entre 25.60 °C y 27.50 °C, valores que son característicos de cuerpos de agua ubicados en regiones tropicales (Lewis, 1987).

Se observó además la formación de una termoclina incipiente en los primeros metros de profundidad, evidenciada en los perfiles de temperatura de los puntos "Este Centro" y "Oeste Centro" (ver Gráfica 14). En comparación con el mes anterior, se registró un aumento de 1.84 °C en "Este Centro" y de 1.99 °C en "Oeste Centro". Este comportamiento es consistente con el fenómeno de estratificación térmica típico de la temporada de verano, donde el estrato superficial (epilimnion) mantiene temperaturas más elevadas, mientras que los estratos profundos (hipolimnion) presentan temperaturas más bajas y reducidos niveles de oxígeno disuelto.

Durante el mes evaluado, las diferencias de temperatura entre el epilimnion y el hipolimnion fueron de 3.51 °C y 3.93 °C en los puntos "Este Centro" y "Oeste Centro", respectivamente. Estas variaciones son consistentes con la consolidación de la época de estiaje, caracterizada por una menor recarga hídrica y un aumento en la estabilidad térmica del cuerpo de agua.

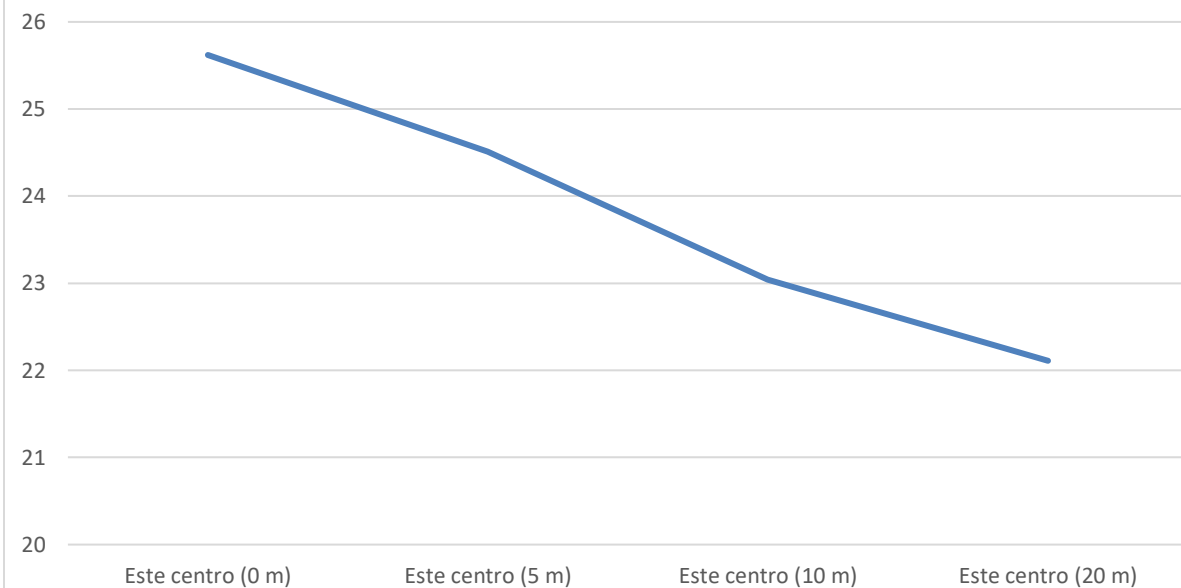
Estos patrones térmicos fueron evidenciados en los perfiles de temperatura correspondientes a ambos puntos de monitoreo.

Gráfica 14: Perfil de temperatura (°C) en los puntos de monitoreo que tienen profundidad en el lago de Amatitlán (Este y Oeste Centro), durante el mes de abril, 2025.

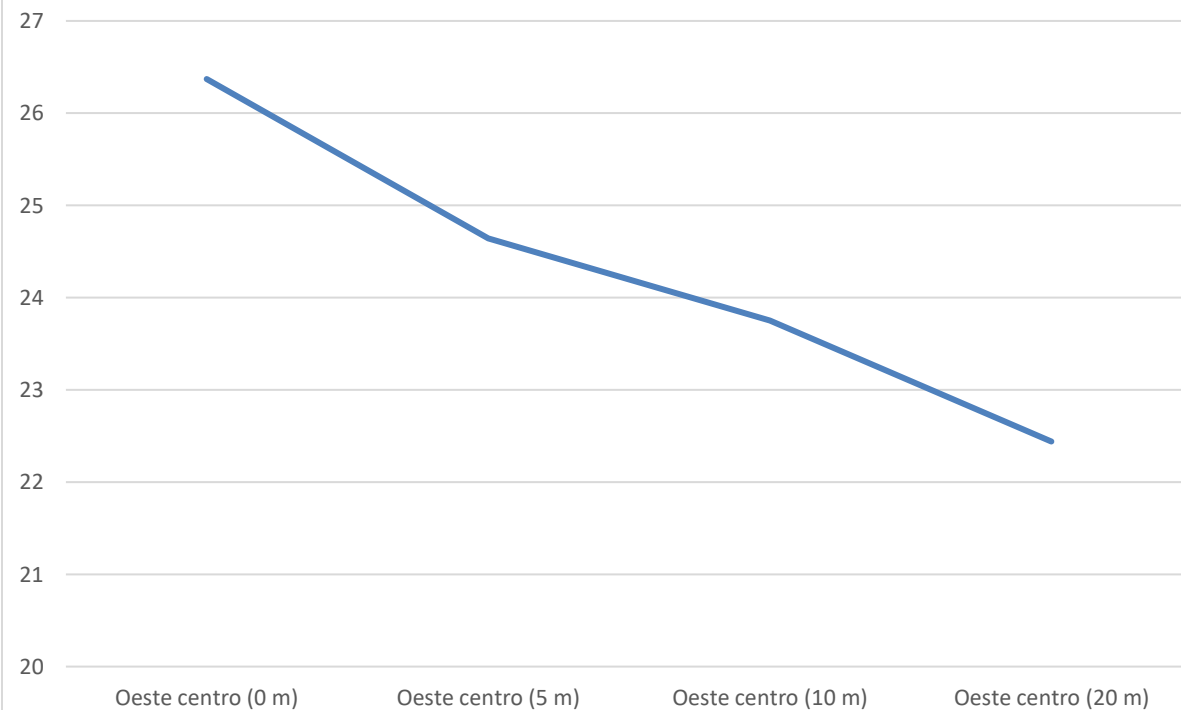




Perfil de Temperatura Este Centro



Perfil de Temperatura Oeste Centro



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.

Nutrientes

- **Fósforo total (PT) y ortofosfatos (PO₄-P):**

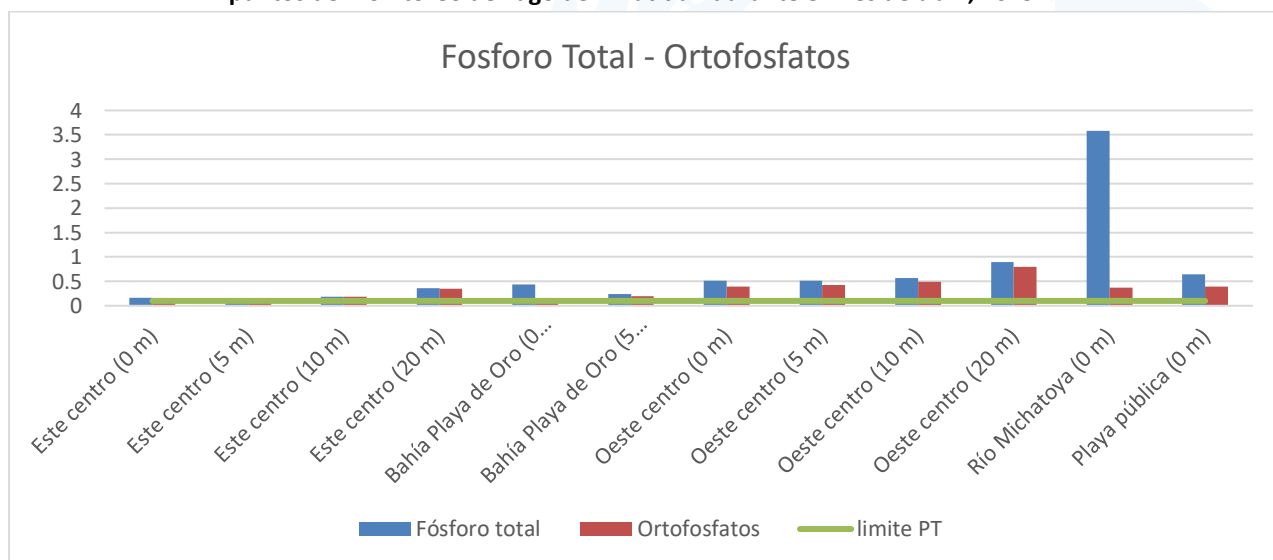
El fósforo es uno de los elementos más estudiados e importantes en los ecosistemas acuáticos, debido a su papel esencial en el metabolismo biológico de los organismos. A diferencia de otros elementos de importancia nutricional y estructural, como el carbono, hidrógeno y nitrógeno, el fósforo es relativamente escaso en los ecosistemas naturales y, comúnmente, actúa como un factor limitante de la producción primaria (Wetzel, 2001).

Durante el mes de abril, los valores de fósforo total (PT) detectados en los puntos de monitoreo del lago de Amatitlán mostraron un leve incremento en comparación con el mes anterior. En todos los sitios evaluados se registraron concentraciones superiores a 0.1 mg/L de PT (ver Gráfica 15). Este incremento está relacionado con la consolidación de la época de estiaje, que favorece la concentración de nutrientes en el cuerpo de agua.

Particularmente, en los puntos "Este Centro" y "Oeste Centro", los valores de PT en el epilimnion fueron de 0.166 mg/L y 0.5126 mg/L, respectivamente. Según Wetzel (2001), concentraciones de fósforo total superiores a 0.1 mg/L en el epilimnion clasifican al cuerpo de agua como hipereutrófico, condición que implica una alta productividad biológica y, generalmente, un deterioro en la calidad del agua.

Un aumento significativo también fue registrado en el punto "Río Michatoya", donde el valor de fósforo total alcanzó los 3.5812 mg/L, un incremento notable respecto al mes de marzo. Esta situación podría atribuirse a la acumulación de biomasa algal y a la retención de fósforo en esta zona, lo que genera impactos adversos sobre la biodiversidad local y compromete los procesos ecológicos del lago.

Gráfica 15: Valores de fósforo total (PT), ortofosfatos (PO₄-P) y fósforo total disuelto (PTD) detectados en cinco puntos de monitoreo del lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.



- **Nitrógeno Total (NT), Nitrógeno de nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$), Nitrógeno de nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$) y de amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$):**

El nitrógeno es un elemento fundamental en los ecosistemas acuáticos, ya que constituye una parte esencial de diversas macromoléculas biológicas, como proteínas y nucleótidos, que son cruciales para el desarrollo de los organismos. En los lagos, el nitrógeno se presenta en diversas formas químicas, como amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$) y nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$), y puede provenir de varias fuentes, incluyendo la precipitación atmosférica, la fijación biológica de nitrógeno, y la escorrentía superficial (Wetzel, 2001).

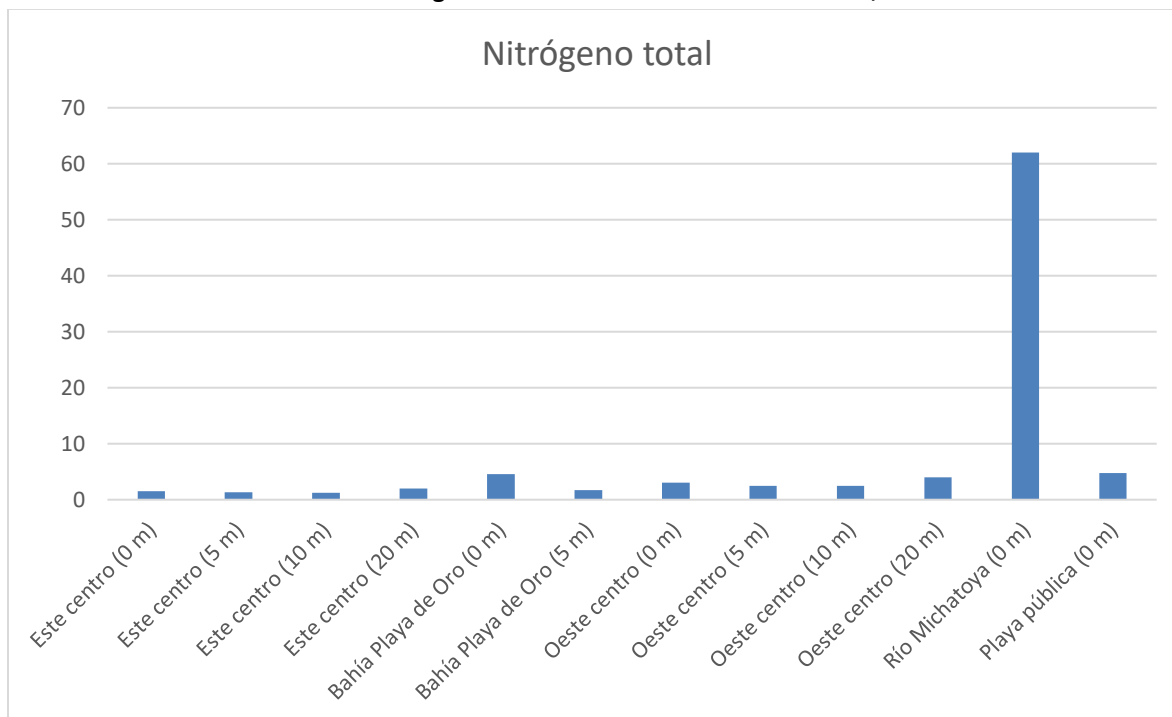
Durante el mes de abril, se registró un considerable aumento en los valores de nitrógeno total (NT) en comparación con los resultados obtenidos en marzo, especialmente en el punto de monitoreo "Río Michatoya". Los valores de NT en este punto ascendieron a 62.043 mg/L, en contraste con los 11.703 mg/L reportados el mes anterior. Este aumento puede estar asociado con el incremento en la descomposición de materia orgánica en el fondo del lago, ya que, conforme se desciende en la columna de agua, los niveles de nitrógeno tienden a aumentar.

Los compuestos de nitrógeno y fósforo son nutrientes esenciales para los organismos acuáticos y, en última instancia, para la cadena trófica. Estos nutrientes determinan la productividad de los ecosistemas acuáticos, así como el desarrollo de cultivos en áreas agrícolas circundantes. Es fundamental comprender los factores bióticos y abióticos que afectan los procesos naturales de los ciclos de nitrógeno y fósforo, con el fin de desarrollar prácticas de manejo sostenible que optimicen el uso de estos nutrientes y minimicen los efectos adversos sobre la calidad del suelo y el agua.

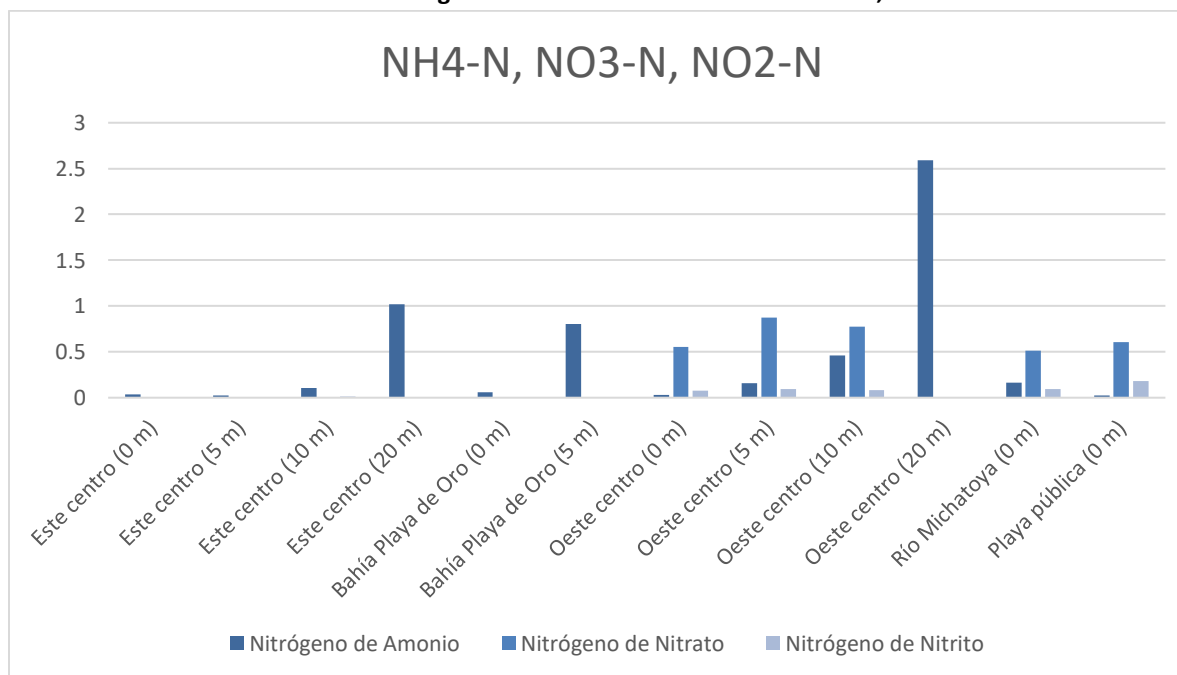
En lo que respecta al amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$), se observó que en el punto "Oeste Centro", los valores máximos de este compuesto fueron de 2.592 mg/L a profundidades mayores, mientras que en la capa superficial del punto "Río Michatoya", los valores fueron de 0.1653 mg/L, superando el límite de detección. Este aumento en la concentración de amonio podría estar relacionado con la disminución del caudal en el río Villalobos y el arrastre de contaminantes hacia el lago.

Cabe destacar que niveles elevados de amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$) pueden ser peligrosos para los organismos acuáticos. Este compuesto dificulta la excreción por parte de los organismos, lo que puede resultar en una acumulación tóxica en los tejidos y la sangre, llevando a la muerte de los organismos expuestos (Huff et al., 2013). Por lo tanto, es crucial monitorear y controlar los niveles de nitrógeno, especialmente en zonas con alta concentración de amonio, para evitar impactos negativos en la biodiversidad acuática.

Gráfica 16: Valores de nitrógeno total (NT) y nitrógeno total disuelto (NTD) detectados en cinco puntos de monitoreo del lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.



Gráfica 17: Valores de amonio (NH₄-N), nitratos (NO₃-N) y nitritos (NO₂-N) detectados en cinco puntos de monitoreo del lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.

Otros análisis

Contaminantes Emergentes

Los contaminantes emergentes son compuestos químicos que comúnmente no han sido monitoreados en el ambiente, pero que tienen el potencial de tener efectos adversos en los ecosistemas y en la salud humana (Geissen *et al.*, 2015). Estos compuestos se dividen principalmente en: compuestos farmacéuticos, de cuidado personal, hormonas, aditivos de comida o productos procesados, pesticidas, plastificantes, preservativos de comida, desinfectantes, surfactantes, detergentes, etc. (Tang *et al.*, 2019).

Este mes no se reportan resultados de compuestos orgánicos persistentes debido a que el equipo de Cromatografía de Gases se encuentra en mantenimiento, lo cual al tener disponibles los datos se estarán agregando en una tabla comparando el presente mes con el siguiente.

Microcistinas totales y disueltas

Las microcistinas son una de las toxinas más predominantes producidas por cianobacterias. Existen diversas variantes de microcistinas, las cuales se diferencian en los dos aminoácidos que componen su estructura molecular. Estas toxinas, en concentraciones elevadas, pueden causar daños en distintos órganos, como el hígado, actuar como promotores tumorales e inducir estrés oxidativo en las células afectadas (Wu *et al.*, 2019). La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece un valor guía de 1 µg/L de microcistinas para el agua destinada al consumo humano (WHO, 2020).

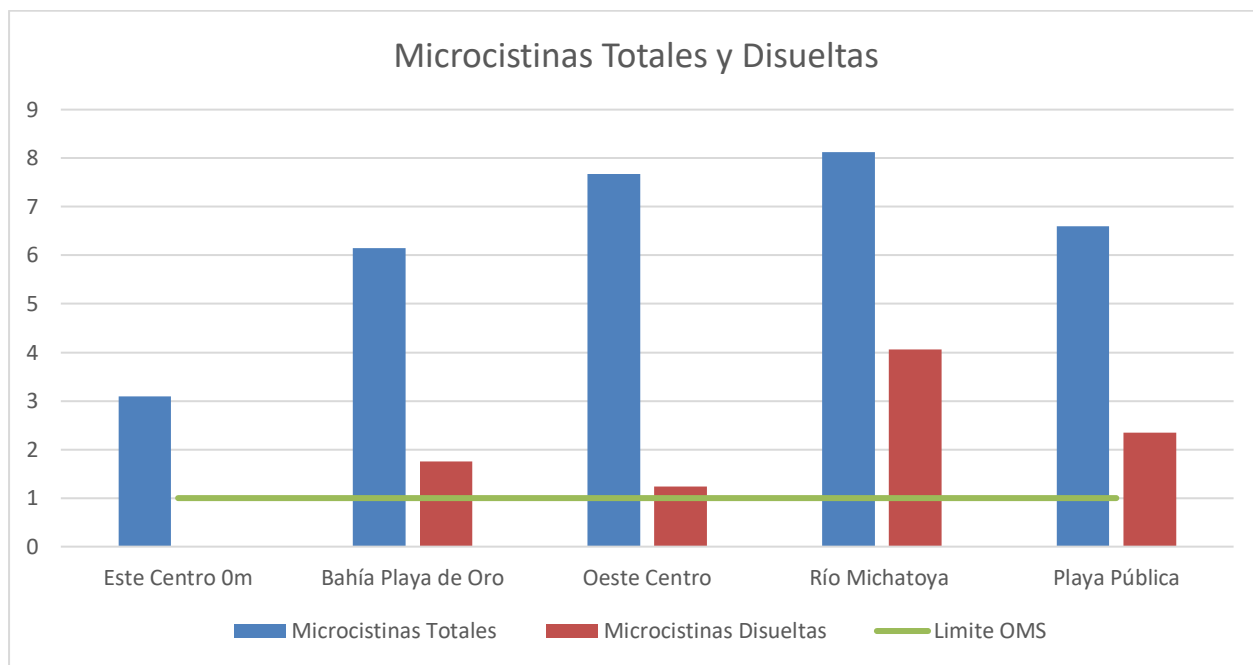
En el monitoreo realizado, los resultados de microcistinas totales alcanzaron un valor máximo de 8.1198 µg/L en el punto denominado "Río Michatoya" (Cuadro 7), evidenciando un aumento considerable respecto al mes anterior. Este incremento puede atribuirse a la disminución en el movimiento de agua, debido a la apertura de las compuertas en la salida del Río Michatoya, lo que favorece la concentración de microcistinas en estos sectores. Cabe destacar que estos puntos de muestreo son críticos, ya que se encuentran en áreas de potencial impacto para la salud humana.

En cuanto a las microcistinas disueltas, se registraron concentraciones de hasta 4.0661 µg/L en el punto de "Río Michatoya". Es importante señalar que el análisis de microcistinas totales mide tanto las microcistinas disueltas en el agua como aquellas contenidas dentro de las células de las cianobacterias, mientras que el análisis de microcistinas disueltas cuantifica únicamente las toxinas presentes en la fase acuosa.



Autoridad para el Manejo
**Sustentable de la Cuenca y
del Lago de Amatitlán**

Gráfica 18: Valores de Microcistinas totales y Disueltas (mg/L) registrados en cinco puntos de monitoreo del lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.

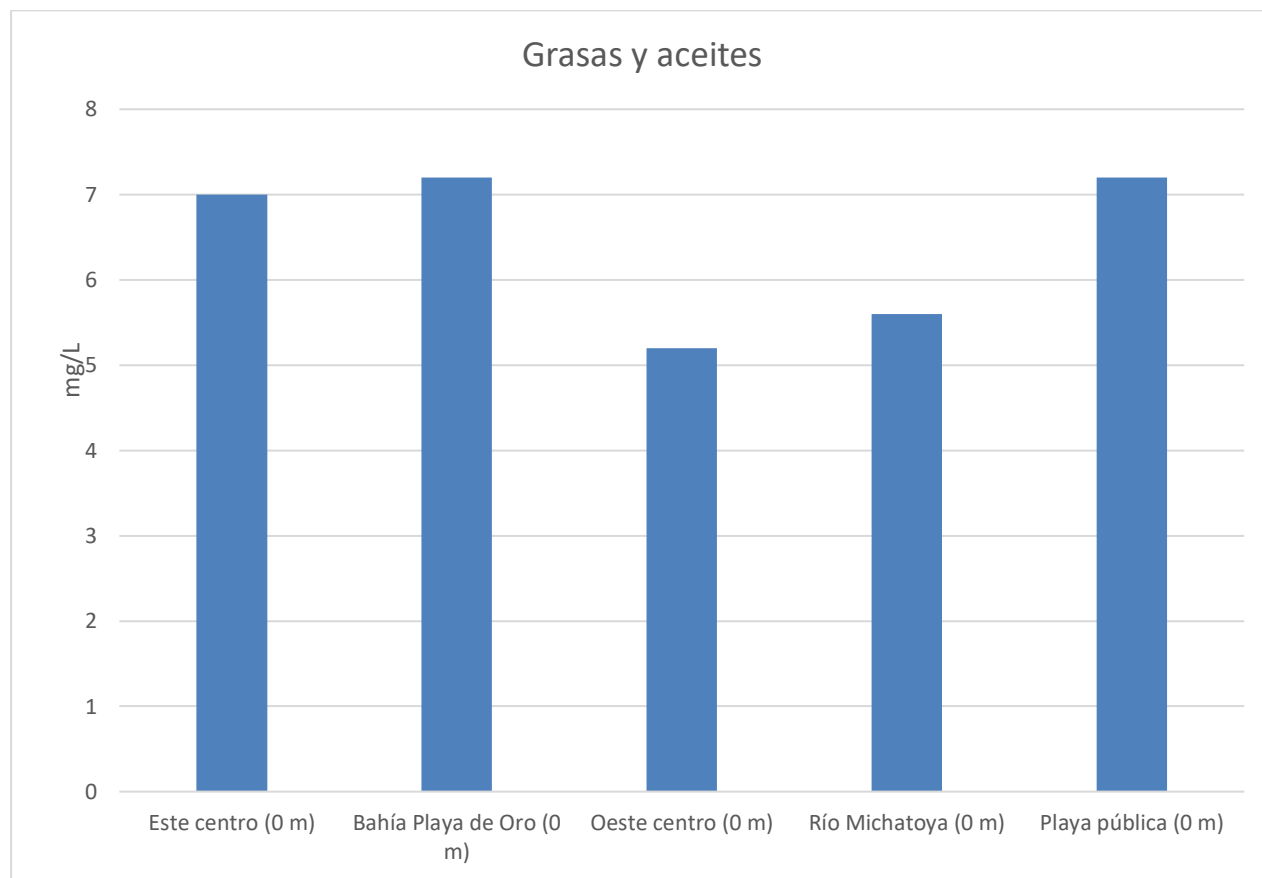


Grasas y aceites

Como se ha mencionado anteriormente, las grasas y aceites son compuestos que pueden generar un impacto negativo en los ecosistemas acuáticos, principalmente por su capacidad de reducir los niveles de oxígeno disuelto, afectando así la salud y el equilibrio del ecosistema. En la Gráfica 19 se presentan los valores registrados para estos compuestos durante el mes de abril. Los puntos de "Bahía Playa de Oro" y "Playa Pública" mostraron las concentraciones más elevadas, alcanzando valores de 7.2 mg/L, lo cual representa una leve disminución respecto al mes anterior.

Las concentraciones registradas en estos puntos de monitoreo se consideran elevadas, dado que son típicas de cuerpos de agua impactados por descargas de aguas residuales. A pesar de ello, la ligera disminución observada en comparación con marzo sugiere una mejora gradual en las condiciones del hábitat acuático, lo que favorece a los organismos que dependen del oxígeno disuelto para su supervivencia y desarrollo, como peces, moluscos y crustáceos, presentes en el lago de Amatitlán.

Gráfica 19: Valores de grasas y aceites (mg/L) registrados en cinco puntos de monitoreo del lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025.

Parámetros biológicos de los puntos de monitoreo establecidos en el Lago de Amatitlán

- **Microbiología:**

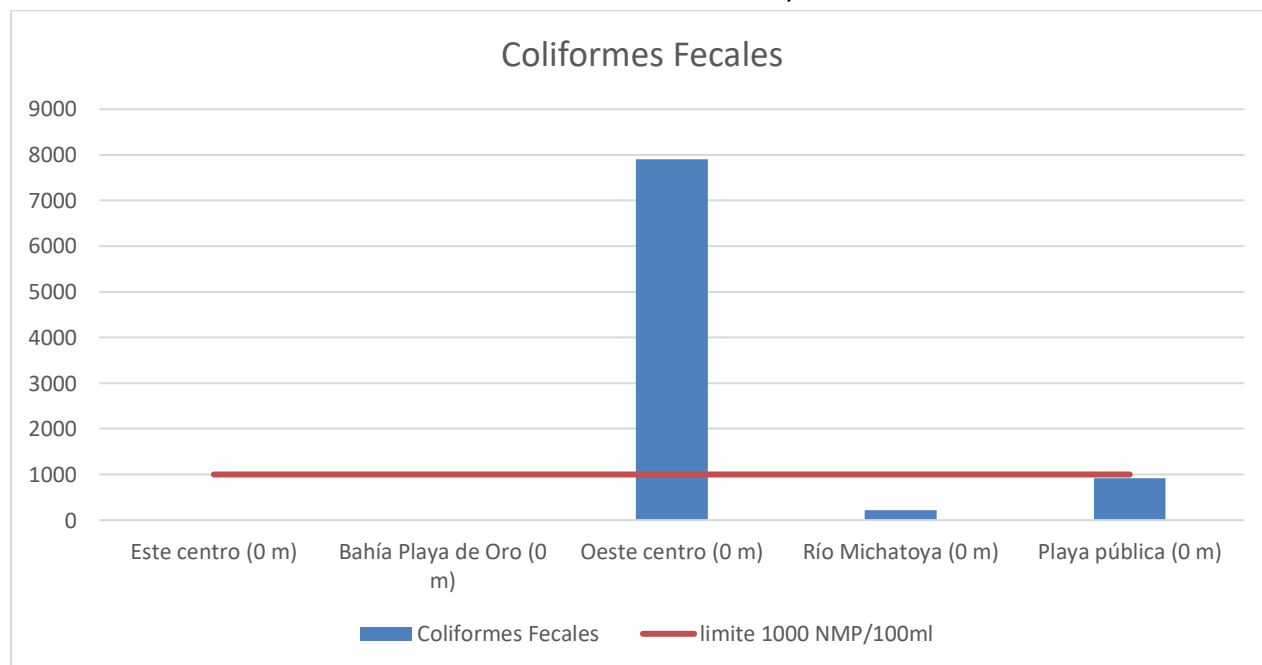
Se realizaron análisis de coliformes fecales en el lago de Amatitlán con el objetivo de evaluar el grado de contaminación fecal presente en este ecosistema acuático. Es ampliamente conocido que las bacterias coliformes residen en los intestinos y en la materia fecal de numerosos mamíferos, incluyendo a los seres humanos, por lo que su detección constituye un indicador confiable de contaminación fecal (Hoyer et al., 2006).

Los resultados obtenidos para el mes de abril (Gráfica 20) muestran una variación en los niveles de coliformes fecales en todos los puntos de monitoreo con respecto al mes anterior. La mayoría de los sitios analizados reportaron valores inferiores a >1000 NMP/100 mL, con excepción del punto "Oeste Centro", el cual presentó la concentración más elevada, registrando $7.90E+03$ NMP/100 mL. A pesar de esta cifra, se observó una leve disminución en comparación con el nivel registrado en el mes previo.

Este comportamiento puede explicarse por la reducción en el caudal del lago, lo cual incrementa la concentración de contaminantes, aun cuando se presentaron algunas lluvias imprevistas. No obstante, estos resultados no implican que el agua del lago sea apta para consumo humano.

Concentraciones superiores a >1000 NMP/100 mL de coliformes fecales representan un alto riesgo para la salud de las personas que tienen contacto directo con el agua, ya sea a través de actividades como la pesca, la natación, entre otras (Lloyd & Bartram, 1991). Por tanto, se recomienda extremar precauciones, dado que la exposición a este tipo de contaminación puede derivar en problemas de salud, especialmente afecciones gastrointestinales.

Gráfica 20: Valores de coliformes fecales (UFC/100 ml) registrados en cinco puntos de monitoreo del lago de Amatitlán durante el mes de abril, 2025.



Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos, 2025

CONCLUSIONES SOBRE EL ESTADO DE LOS CUERPOS DE AGUA DE LA CUENCA Y EL LAGO DE AMATITLÁN

RÍOS DE LA CUENCA DEL LAGO DE AMATITLÁN

Las muestras de agua analizadas en el Laboratorio de Agua y Sólidos demuestran que existen grandes y continuas descargas de aguas residuales de tipo ordinario, especial y mixtas sin tratamiento en los ríos de la cuenca del lago de Amatitlán, con excepción del Río Pampumay el cual este mes presentó mejores condiciones por el hecho de no tener constantes contaminantes vertidos hacia este cuerpo de agua. Entre los datos más importantes se pueden mencionar:

- **Incremento de nutrientes en condiciones de bajo caudal:** El aumento en las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total registrado en los ríos de la cuenca del lago de Amatitlán (Gráficas 6 y 8) evidencia un proceso de concentración de contaminantes como consecuencia de una reducción en el caudal hídrico. Esta situación sugiere que, durante periodos de menor disponibilidad hídrica, la dilución natural de nutrientes es limitada, favoreciendo así procesos de eutrofización. Se hace necesario fortalecer las acciones institucionales orientadas a la reducción de cargas de nutrientes mediante la implementación y verificación de plantas de tratamiento, fiscalización de descargas, sanciones, y monitoreos sistemáticos.
- **Relación entre nutrientes y materia orgánica:** La tendencia ascendente en los valores de nitrógeno y fósforo coincide con un aumento en los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), lo cual indica una mayor concentración de materia orgánica biodegradable y no biodegradable en los cuerpos de agua. Esta correlación sugiere que, ante menores caudales, la carga orgánica vertida tiene mayor impacto sobre la calidad del agua, comprometiendo la salud del ecosistema acuático.
- **Contaminación fecal como indicador de descargas no tratadas:** El aumento generalizado en los niveles de coliformes fecales y *Escherichia coli* (Gráfica 11) en todos los puntos monitoreados indica una fuerte presión de contaminación fecal, atribuida principalmente a la descarga de aguas residuales sin tratamiento. Esta situación representa un riesgo sanitario y ambiental significativo, por lo que se deben reforzar las medidas de control institucional, incluyendo inspecciones, denuncias y vigilancia sobre el cumplimiento de normativas en saneamiento.
- **Inadecuación del uso de agua para fines humanos y agrícolas:** Dadas las condiciones actuales de calidad del agua, caracterizadas por altos niveles de contaminación orgánica, fecal y nutrientes, los ríos de la cuenca no deben ser utilizados para actividades recreativas, consumo humano ni riego agrícola, especialmente en cultivos de contacto directo, debido al alto riesgo sanitario que esto representa.



Autoridad para el Manejo **Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán**

- **Erosión y transporte de sedimentos como amenaza persistente:** El análisis de sólidos disueltos totales, salinidad y conductividad (Cuadro 2) refleja un transporte importante de material particulado, particularmente en el río Villalobos en su tramo bajo, atribuible a procesos de erosión acelerada. Esta problemática requiere de intervenciones inmediatas como la recuperación y reforestación de zonas riparias con especies nativas, a fin de estabilizar los suelos y reducir el arrastre de sedimentos hacia el lago.
- **Reducción del oxígeno disuelto y afectación a la biota acuática:** Todos los ríos monitoreados reportaron niveles de oxígeno disuelto por debajo de los valores ideales para la vida acuática, lo cual representa una condición crítica para la supervivencia y diversidad de organismos acuáticos. La disminución de oxígeno disuelto en abril, en comparación con el mes anterior, refuerza la urgencia de restaurar las condiciones ambientales de los ríos. Este parámetro debe considerarse como un indicador clave para medir la efectividad de las acciones de restauración ecológica.
- **Comportamiento particular del río Pampumay:** El río Pampumay continúa mostrando condiciones relativamente estables en la mayoría de los parámetros evaluados, lo que lo convierte en un potencial referente para el monitoreo de mejoras en la cuenca. No obstante, presentó un aumento en coliformes fecales y *E. coli*, lo que indica una posible entrada puntual de contaminación fecal que debe ser evaluada y controlada.
- **Impacto acumulativo sobre el lago de Amatitlán:** Toda la problemática identificada en los ríos de la cuenca repercute directamente en la condición ecológica del lago de Amatitlán. La continua entrada de aguas residuales y sedimentos favorece procesos de hipereutrofización y reducción de profundidad, deteriorando la calidad ambiental del lago. Las acciones de mitigación deben enfocarse de manera prioritaria en el control de fuentes de contaminación en los ríos tributarios para lograr una mejora integral en la cuenca.



LAGO DE AMATITLÁN

Las muestras de agua analizadas en el Laboratorio de Agua y Sólidos nos dan indicios del estado trófico que presenta el lago de Amatitlán y de los problemas que enfrenta este cuerpo de agua. Entre los datos más importantes podemos mencionar:

- **Hipereutrofización del lago de Amatitlán:** El lago de Amatitlán sigue enfrentando un problema significativo de hipereutrofización, como se evidencia en el aumento de los niveles de nutrientes (fósforo, nitrógeno) y otros parámetros en el mes de abril. Esta tendencia hacia una mayor contaminación está afectando la calidad ecológica del lago y comprometiendo los servicios ambientales que este ecosistema provee, como la pesca, la recreación y el turismo. Las poblaciones biológicas del lago (peces, crustáceos, moluscos, entre otros) están siendo impactadas, y si continúa esta degradación, el lago podría enfrentar mayores afectaciones, especialmente debido al descenso del caudal y el incremento de nutrientes.
- **Proliferación de cianobacterias:** Las altas concentraciones de nutrientes, especialmente los que provienen del río Villalobos, siguen impulsando el florecimiento de cianobacterias en el lago. Estos florecimientos son responsables de la degradación de la calidad del agua y suponen un riesgo para la salud humana y acuática.
- **Aumento de nitrógeno y fósforo en Río Michatoya:** Se observó un aumento alarmante en los valores de nitrógeno (62.043 mg/L) y fósforo (3.5812 mg/L) en el punto de Río Michatoya, en comparación con el mes de marzo. Este aumento se debe al descenso del caudal causado por la época de estiaje ya establecida, lo que favorece la acumulación de nutrientes y agrava la calidad del agua.
- **Contaminación fecal:** El lago continúa enfrentando altos niveles de contaminación fecal, principalmente debido a la descarga de aguas residuales del río Villalobos. Aunque la mayoría de los puntos monitoreados se encuentran por debajo del límite máximo permisible según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, el punto de Oeste Centro sigue siendo el más afectado, con 7.90E+03 NMP/100ml. Es importante tomar precauciones, especialmente en zonas como Playa Pública, donde la contaminación fecal sigue siendo un riesgo para la salud de quienes practican actividades acuáticas directas, como la pesca o la natación.
- **Riesgos de las microcistinas:** Debido a las altas concentraciones de microcistinas detectadas en los puntos de monitoreo, se recomienda abstenerse de realizar actividades recreativas en el lago, como la natación, y evitar el consumo de agua del lago, ya que estas toxinas representan un serio peligro para la salud humana.
- **Efecto de las altas temperaturas y la estratificación:** Las altas temperaturas y el tiempo de residencia prolongado en Bahía Playa de Oro y Río Michatoya podrían estar favoreciendo el florecimiento de cianobacterias y la acumulación de algas, particularmente durante la época de verano. Es necesario implementar medidas para reducir el tiempo de residencia del agua en estos



Autoridad para el Manejo **Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán**

puntos, tanto en la época de estiaje como en la lluviosa, con el fin de mitigar el desarrollo de florecimientos masivos.

- **Degradación de los ecosistemas acuáticos:** La degradación de los ecosistemas acuáticos en la cuenca del lago de Amatitlán es evidente. Sin una intervención adecuada, especialmente en los ríos de la cuenca, el estado trófico del lago seguirá deteriorándose, lo que provocará un agravamiento de sus condiciones ecológicas.
- **Cumplimiento de regulaciones y responsabilidades municipales:** Aunque las acciones realizadas por la institución y las denuncias de contaminación son valiosas, no son suficientes sin la colaboración activa de las municipalidades. Es esencial que estas verifiquen el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006 sobre las descargas y reúso de aguas residuales. Además, se debe asegurar el acompañamiento del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales para garantizar que se implementen medidas de control adecuadas.
- **Obstáculos para la recuperación ecológica:** Es importante destacar que existen dificultades para la recuperación ecológica del lago debido al amparo que se le ha otorgado a las municipalidades respecto al cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006. Este amparo dificulta la implementación de prácticas efectivas para restaurar el estado ecológico del lago y evitar que las municipalidades enfrenten sanciones.





Autoridad para el Manejo
**Sustentable de la Cuenca y
del Lago de Amatitlán**

**REGISTRO FOTOGRÁFICO
MONITOREO AL LAGO DE AMATITLÁN**



Fotografía 1, 2, 3 y 4: Monitoreo al Lago de Amatitlán en el mes de abril, 2025



Fotografía 5 y 6: Monitoreo del Ríos de la Cuenca del Lago de Amatitlán en el mes de abril, 2025.

CAPÍTULO III: OTRAS ACTIVIDADES REALIZADAS POR LA DIVISIÓN DE CONTROL AMBIENTAL

- Reuniones interinstitucionales

Se tuvieron las siguientes reuniones con otras instituciones:

- RELABSA: reunión mensual donde participa la División de Control Ambiental, ya que forma parte de la Red de Laboratorios de Salud y Ambiente.
- COGUANOR: reunión mensual para tratar temas de Índice de Calidad de Agua (ICA) y otros temas relacionados.

REFERENCIAS

- Baird, B., Eaton, A. & Rice, E. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd. Water Environment Federation, American Public Health Association, American Water Works Association.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder, and J.B. Stribling. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. (2th ed.). U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C.
- Boyd C.E. (2015) Phosphorus. In: *Water Quality*. Springer, Cham
- Brenniman, G. R. (1999). Biochemical oxygen demand. *Environmental Geology*. Encyclopedia.
- Cada, G. F., Sale, M. J., & Dauble, D. D. (2004). *Hydropower, environmental impact of* (No. PNNL-SA-38065). Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States).
- Camargo, J. A., Alonso, A., & Salamanca, A. (2005). Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere*, 58(9), 1255-1267.
- Chislock, M. F., Doster, E., Zitomer, R. A., & Wilson, A. E. (2013). Eutrophication: causes, consequences, and controls in aquatic ecosystems. *Nature Education Knowledge*, 4(4), 10.
- EPA. (2009). National recommended water quality criteria. United States Environmental Protection Agency', Office of Water, Office of Science and Technology.
- Hoyer, M. V., Donze, J. L., Schulz, E. J., Willis, D. J., & Canfield Jr, D. E. (2006). Total coliform and Escherichia coli counts in 99 florida lakes with relations to some common limnological factors. *Lake and reservoir management*, 22(2), 141-150.
- Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., Van der Ploeg, M., ... & Ritsema, C. J. (2015). Emerging pollutants in the environment: a challenge for water resource management. *International soil and water conservation research*, 3(1), 57-65.
- Gerba, C. P. (2009). Indicator microorganisms. In *Environmental microbiology* (pp. 485-499). Academic Press.
- Huff, L., Delos, C., Gallagher, K., & Beaman, J. (2013). *Aquatic life ambient water quality criteria for ammonia-freshwater*. Environmental Protection Agency. Washington: USA.
- Khan, S. & Ali, J. (2018). Oil and Grease. In *Chemical analysis of air and wáter*. (pp. 21-39). Elsevier, 2018.
- Lambou, V. W., Hern, S. C., Taylor, W. D., & Williams, L. R. (1982). Chlorophyll, phosphorus, secchi disk and trophic state. *Journal of the American Water Resources Association*, 18(5), 807-813.
- Lewis, W.M. Jr. 1987. Tropical limnology. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 18: 158–184
- Lloyd, B. J. & Bartram, J. K. (1991) Surveillance solutions to microbiological problems in water-quality control in developing-countries. *Water Sci Technol* 24: 61–75.



Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán

- Neal, C. & Jarvie, H. (2005). Agriculture, community, river eutrophication and the Water Framework Directive. *Hydrol Process* 2005;19:1895–901.
- Pauer, J. J., & Auer, M. T. (2000). Nitrification in the water column and sediment of a hypereutrophic lake and adjoining river system. *Water Research*, 34(4), 1247-1254.
- Pavluk, T. & Vaate, A. (2008). Trophic index and efficiency. In Jorgensen, S. E. & Fath, B. D. (eds). *Encyclopedia of ecology*. (1ed). Elsevier. Oxford, UK.
- Rao, S. R. (2006). Waste Characterization. In Waste Management Series (Vol. 7, pp. 13-34). Elsevier.
- Reddy, V. R. (2011). *Economic Analysis of Health Impacts in Developing Countries*. Encyclopedia of Environmental Health, 197–206.
- Roldán, G. y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de Limnología neotropical*. Antioquia, Colombia. Editorial Universidad Antigua.
- Weigelhofer G., Hein T., Bondar-Kunze E. (2018) Phosphorus and Nitrogen Dynamics in Riverine Systems: Human Impacts and Management Options. In: Schmutz S., Sendzimir J. (eds) *Riverine Ecosystem Management*. Springer.
- Tang, Y., Yin, M., Yang, W., Li, H., Zhong, Y., Mo, L., ... & Sun, X. (2019). Emerging pollutants in water environment: Occurrence, monitoring, fate, and risk assessment. *Water Environment Research*, 91(10), 984-991.
- Thomas, M. M. & Beim, A. (1992). Lakes. In Chapman, D. (ed). *Water Quality Assessments – A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring* (2ed). UNESCO/WHO.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Academic Press.
- Wetzel, R. G., & Likens, G. E. (2000). Dissolved oxygen. In *Limnological Analyses* (pp. 73-84). Springer, New York, NY.
- WHO (2020). Cyanobacterial toxins: Anatoxin-a and analogues; Cylindrospermopsins; Microcystins; Saxitoxins. Background In *Guidelines for Drinking-water Quality and Guidelines for Safe Recreational Water Environments*. World Health Organization.
- Wu, X., Hou, L., Lin, X., & Xie, Z. (2019). Application of Novel Nanomaterials for Chemo-and Biosensing of Algal Toxins in Shellfish and Water. In *Novel Nanomaterials for Biomedical, Environmental and Energy Applications* (pp. 353-414). Elsevier.