

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL-DICA-
INFORME DE CALIDAD DE AGUA DE RÍOS DE LA CUENCA DEL LAGO DE ATITLÁN 2019

Responsable: MSc. Fátima Reyes (*Jefe del Depto. de Investigación y Calidad Ambiental*)

Introducción

Los ríos, riachuelos, arroyos y quebradas, son cuerpos de agua corriente o *lóticas*. Estas aguas están asociadas generalmente a lugares de erosión, transporte y sedimentación de materiales (Roldán Pérez & Ramírez Restrepo, 2008). El monitoreo de la calidad de agua de los ríos utilizando diversos índices, es importante para evaluar el estado ecológico (Fig. 1) y el impacto que éstos tienen en el lago de Atitlán. Con el programa de monitoreo de ríos se determina el nivel de contaminación de los principales afluentes del lago Atitlán y la calidad ambiental en los sitios de muestreo, mediante la evaluación de las condiciones momentáneas (*e.i.*, *parámetros* fisicoquímicos) y a lo largo del tiempo (bioindicadores).



Figura 1 Parte alta de la microcuenca Argueta (AMSCLAE/DICA, 2019).

Justificación

Entre las funciones del Departamento de Investigación y Calidad Ambiental (Acuerdo Gubernativo 78-2012), se encuentran “*Evaluar en forma sistemática la calidad de agua del lago de Atitlán y sus cuencas tributarias, y llevar a cabo los programas para el monitoreo de calidad ambiental en la cuenca del lago de Atitlán*”. Esto con el fin de evaluar de forma permanente el impacto ambiental de las acciones que se desarrollan en la cuenca, así como fomentar el uso sostenible de los recursos naturales mediante el manejo integrado de los mismos.

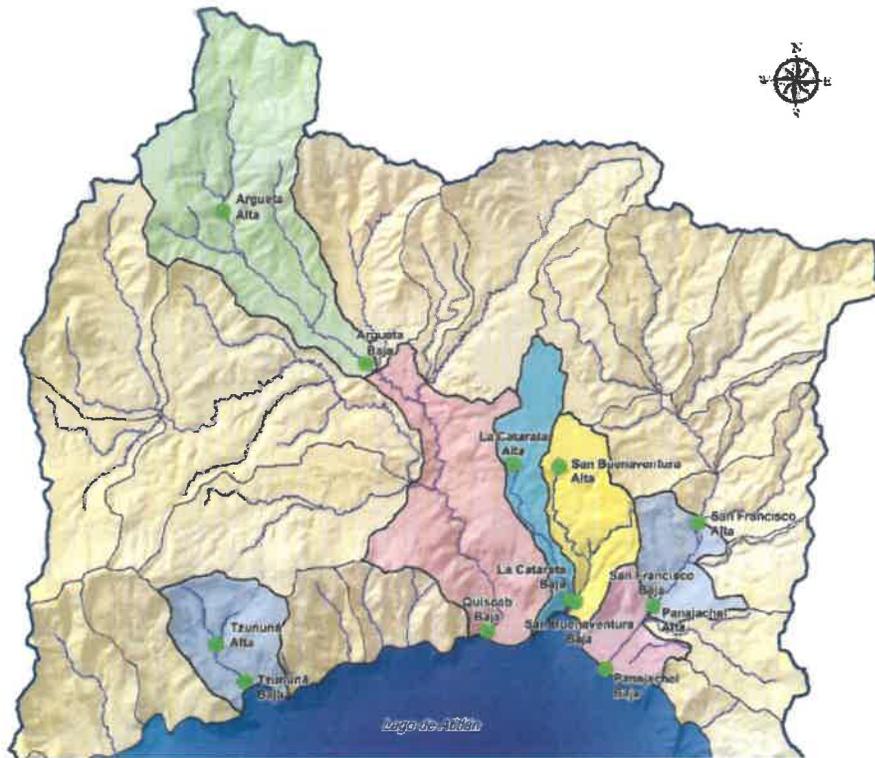


Figura 2 Ubicación de los sitios de muestreo en la cuenca del Lago de Atitlán (AMSCLAE/DICA, 2019).

Microcuenca San Francisco, alta



Ancho 3.2 m, caudal 0.235 m³ s⁻¹

Microcuenca San Francisco, baja



Ancho 2.5 m, caudal 0.384 m³ s⁻¹

Microcuenca Panajachel, alta



Ancho 2.5 m, caudal $0.384 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Microcuenca Panajachel, baja



Ancho 3 m, caudal $0.272 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Microcuenca Argueta, alta



Ancho 2 m, caudal $0.071 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Microcuenca Argueta, baja



Ancho 3.4 m, caudal $0.085 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Microcuenca La Catarata, alta



Ancho 1 m, caudal $0.002 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Microcuenca La Catarata, baja



Ancho 1.3 m, caudal $0.04 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Microcuenca San Buenaventura, alta



Ancho 0.1 m, caudal 0.0002 m³s⁻¹

Microcuenca San Buenaventura, baja



Ancho 1.3 m, caudal 0.035 m³s⁻¹

Microcuenca Tzununá, alta



Ancho 2.0 m, caudal 0.11 m³s⁻¹

Microcuenca Tzununá, baja



Ancho 2.7 m, caudal 0.086 m³s⁻¹

Microcuenca Quiscab, baja



Ancho 5.0 m, caudal 0.964 m³s⁻¹

Figura 3. Registro fotográfico de los sitios de muestreo, dentro de la cuenca del lago Atitlán (AMSCLAE/DICA,2019).

Procedimiento

- *Caracterización del sitio de muestreo*

Para la evaluación de la calidad del hábitat ribereño se utilizó el protocolo de evaluación biológica rápida (RBP por sus siglas en inglés) (Barbour *et al.*, 1999; Reyes, 2012). En cada sitio de muestreo, se realizó una evaluación visual de las condiciones ambientales al momento de tomar las muestras (Anexo A). Se realizó una breve descripción del lecho del río y de la vegetación ribereña.

Se determinó el caudal de cada sitio de muestreo con base en el Método de sección-velocidad (Herrera, 2011). Se definió una sección transversal del cauce para calcular el área, y la velocidad del agua (Fig. 4) (Anexo B). De tal manera que, el caudal del río está dado por (Herrera, 2011):

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = \text{Área} \times \text{Velocidad media}$$

Para la medición de la profundidad y la velocidad de cada tramo de la sección transversal del río, se utilizó un molinete magnético OTT MF PRO. Posteriormente se realizaron los cálculos de los caudales con los datos tomados en campo.



Figura 4. Medición de caudales (AMSCLAE/DICA, 2019).

- *Parámetros fisicoquímicos*

En cada sitio de muestreo se tomaron parámetros *in situ* de calidad de agua, tales como oxígeno disuelto (mg/L), saturación de oxígeno (% saturación), salinidad (mg/L), temperatura ambiental (°C), temperatura del agua (°C), pH (unidades de pH) y sólidos disueltos totales (mg/L). El equipo de campo que se utilizó para la medición de los parámetros *in situ* fue un multiparamétrico marca HACH HQ 40d (Fig. 5). Además, se midieron los sólidos sedimentables con un Cono Imhoff y la transparencia con una botella graduada para medición de transparencia de ríos.

Para los análisis microbiológicos de agua, se tomó una muestra en recipientes de plástico de 120 ml previamente esterilizados (POE-18, Recolección de muestras para análisis microbiológico). Los recipientes se abrieron, se llenaron y cerraron bajo el agua para evitar que la muestra se contaminara, y luego fueron trasladados a una temperatura de 4 °C. Se determinó la *E. coli* utilizando la metodología del NMP/100 ml en 5 tubos, realizando una dilución seriada e incubando las muestras durante 24 horas a 36 ± 1 °C.

Adicional se tomó una muestra de 500 ml en recipientes ámbar de vidrio para determinar la Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅) y una de 250 ml para análisis de nutrientes (POE-2, Recolección y preservación de muestras: análisis fisicoquímicos y conteo de plancton). El análisis de DBO se realizó utilizando el sistema Oxitop y para los análisis de nutrientes se siguieron los procedimientos operacionales estándar del laboratorio de calidad de agua de DICA, nitratos (POE-08, Análisis de nitratos y nitritos), fosfatos (POE-009, Análisis de fosforo reactivo soluble [Ortofosfatos]) y turbidez -FAU- (programa 77 fotómetro NOVA 60). Para la toma de ambas muestras de agua se lavó el recipiente tres veces con agua del río y posteriormente se llenaron evitando que quedaran burbujas de aire adentro (Fig. 5). Todas las muestras se transportaron y almacenaron a una temperatura de 4 °C.



Figura 5 Toma de muestras de agua para análisis en el laboratorio y medición de parámetros in situ (AMSCLAE/DICA, 2019).

Utilizando los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Anexo 1), se calculó el Índice de Calidad de Agua (Bonilla *et al.*, 2010) y así determinar su calidad (Cuadro 2). El ICA utiliza los siguientes parámetros: temperatura ambiental y del agua, saturación de oxígeno, pH, TDS, turbidez, fosfatos, nitratos, DBO₅ y Coliformes fecales; utilizando la siguiente fórmula:

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

Donde:

w_i: Pesos relativos asignados a cada parámetro (*Sub_i*), ponderados entre 0 y 1.

Sub_i: Subíndice del parámetro *i*.

Cuadro 2. Clasificación del índice de calidad del agua -ICA- (Bonilla *et. al.*, 2010).

ICA	Calidad de Agua	Color
91 – 100	Excelente	Azul
71 – 90	Buena	Verde
51 – 70	Regular	Amarillo
26 – 50	Mala	Naranja
0 – 25	Pésima	Rojo

- *Recolecta de Macroinvertebrados*

La recolección de macroinvertebrados se utilizó en base al POE-15 “Calidad de agua mediante el índice BMWP/Atitlán (Macroinvertebrados acuáticos)”. La metodología consiste en identificar un tramo del río no mayor a 50 m que sea lo más representativo posible de las generalidades del río. A lo largo de este tramo se seleccionaron distintos microhabitats (piedra, hojarasca, troncos, arenas y sedimento), los cuales se limpiaron con la mano o con los pies, procurando que lo removido quedara atrapado dentro de la red “D” (Fig. 6). Se realizó una limpieza *in situ* de las muestras (Fig. 6) y se almacenaron en alcohol al 70%.

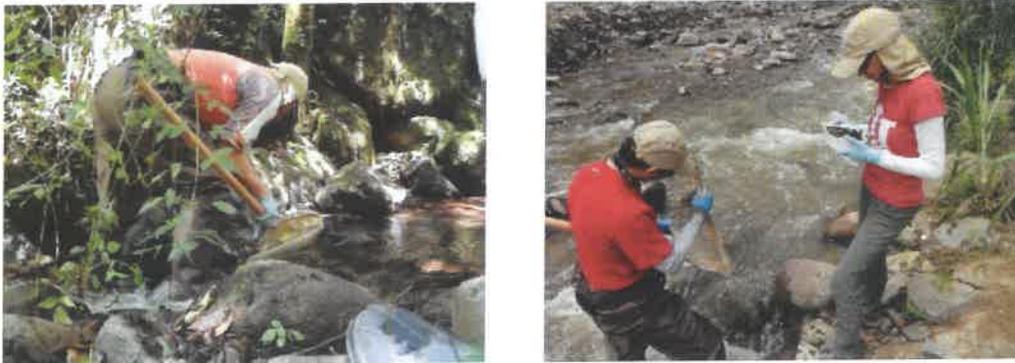


Figura 6. Toma de muestras de macroinvertebrados acuáticos con red en D y limpieza *in situ* de las muestras (AMSCLAE/DICA, 2019).

Las muestras de macroinvertebrados se identificaron a nivel de familia y se realizó el conteo de los organismos pertenecientes a cada familia. Los organismos colectados forman parte de la colección de macroinvertebrados del Laboratorio de Calidad de Aguas de la AMSCLAE. Para la determinación de la calidad de agua con base en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, se utilizó el Índice biótico BMWP/Atitlán, el cual se obtiene sumando los puntajes de cada familia presentes en cada sitio de muestreo, clasificando la calidad del agua en seis categorías (Anexo 2) (Reyes, 2012).



Resultados y discusión

Calidad de agua y de hábitat de los sitios de muestreo

En la figura 7 se muestran los resultados de los índices RBP, ICA y BMWP/Atitlán (Anexo 3). La calidad de hábitat (Fig. 7 [a]) osciló entre pésima a buena. La parte alta de Tzununá y Argueta tienen buena calidad de hábitat. Los sitios restantes tuvieron de regular a mala, excepto la parte baja de San Francisco y Panajachel que tienen una calidad de hábitat pésimo. La posible razón por la que la mayoría de los ríos tengan de pésima a regular calidad de hábitat podría deberse a que se encuentran ubicados en zonas urbanas y con poca a muy alta influencia antropogénica, solo la parte alta de Tzununá y Argueta están ubicados en remanentes boscosos, aunque no son bosques primarios, tienen cierto grado de deterioro.

La calidad de agua según el ICA osciló varió de mala a regular (Fig. 7[b]), exceptuando la parte alta de Argueta que registró una calidad de agua buena. La calidad de agua de los sitios de muestreo está directamente influenciada por las actividades antropogénicas que se realizan dentro de la cuenca (*e.i.*, agricultura, la descarga de aguas residuales, el cambio del uso de suelo, basureros no autorizados), la mayoría de los ríos pasa por algún centro poblado por lo que su calidad de agua se ve afectada. De forma general, la calidad de agua según el ICA disminuyó de las partes altas a las partes bajas de las microcuencas evaluadas, excepto San Buenaventura.

La calidad de agua según el BMWP/Atitlán varió entre pésima y excelente (Fig. 7[c]). Los ríos de las microcuencas Argueta y Tzununá, fueron los únicos que estuvieron presentaron de regular a excelente calidad, los restantes estuvieron entre pésima y muy mala. La abundancia y diversidad de macroinvertebrados acuáticos depende de la calidad y cantidad de sustratos disponibles para ser vivir y debido al grado de sensibilidad y/o tolerancia a la contaminación ambiental se les considera como los mejores bioindicadores de calidad de agua, pues integra los cambios del ambiente y las condiciones física y química del agua. La figura 8 muestra la calidad de agua de los ríos según su ubicación geográfica dentro de la cuenca del lago Atitlán.

Macroinvertebrados acuáticos

Durante el 2019, se recolectaron 929 macroinvertebrados acuáticos, pertenecientes a 14 Órdenes y 35 familias (Anexo 2). Las microcuencas que presentaron mayor abundancia y diversidad de macroinvertebrados fueron Tzununá y Argueta esto está asociado a que son sitios con mayor heterogeneidad de micro hábitats y al bajo impacto de origen antropogénico. En el resto de las microcuencas solo se recolectaron de cuatro a ocho familias, lo que puede estar asociado a que son ríos con altos niveles de contaminación y gran perturbación del ecosistema. Las familias más abundantes fueron Baetidae (200) y Chironomidae (218) y en los sitios donde hay mayor perturbación antropogénica, en las partes bajas de las microcuencas.

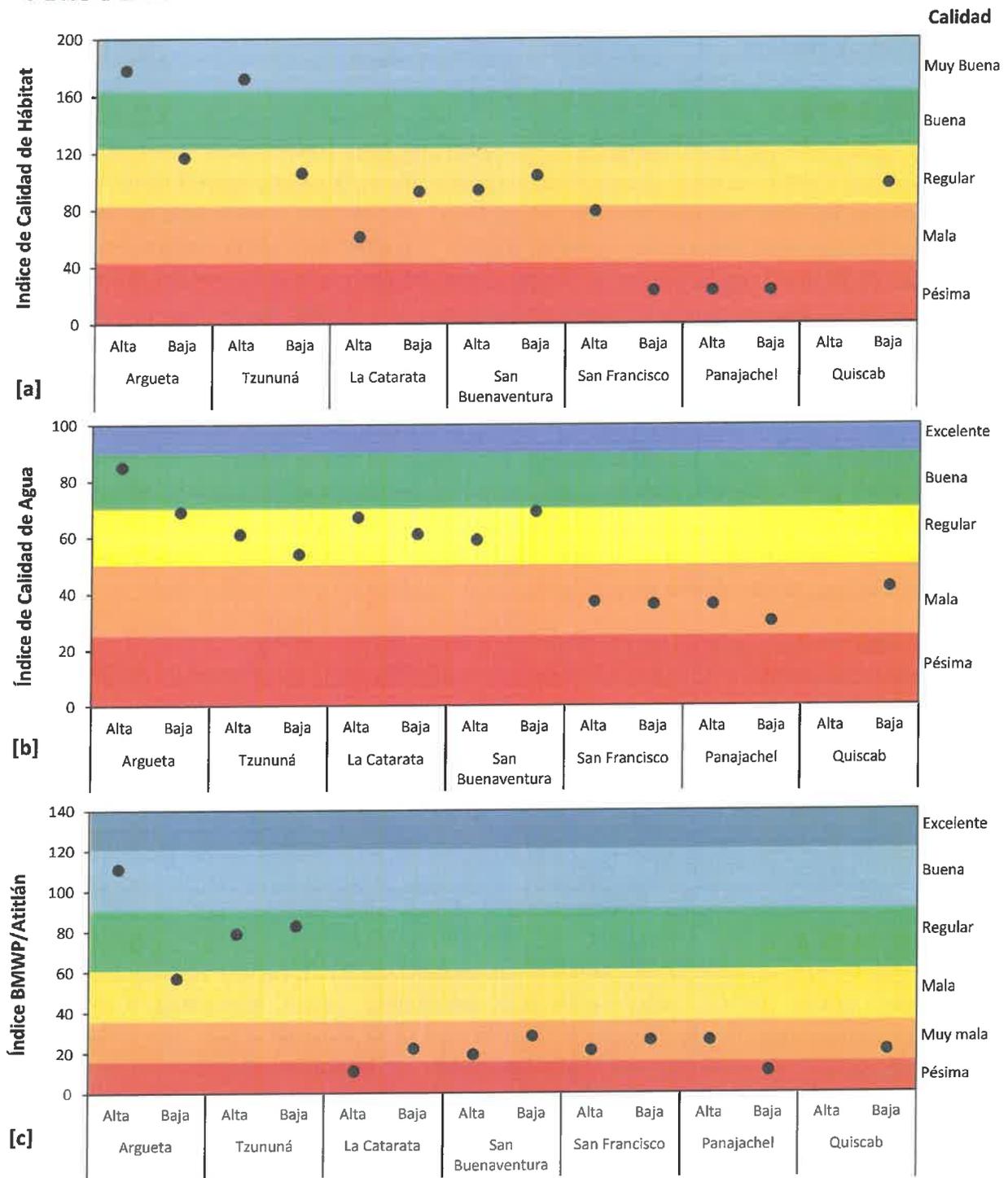
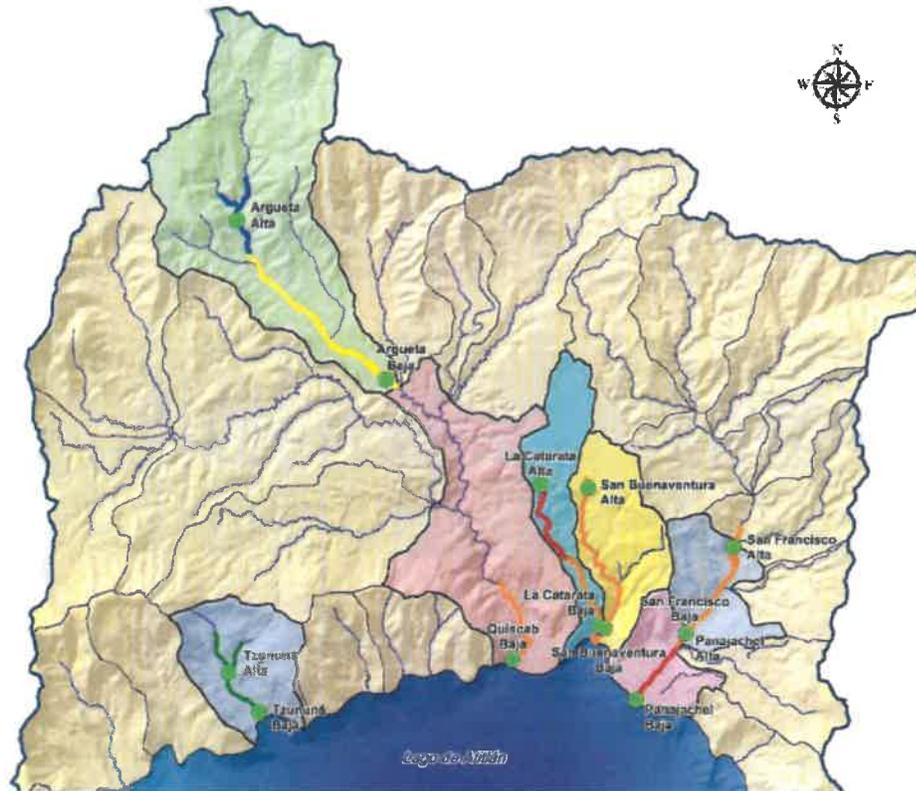


Figura 7. Resultados del [a] Índice de calidad de hábitat. [b] Índice de calidad de agua y [c] Biological Monitoring Working Party para Atitlán (AMSCLAE/DICA, 2019).



Clase	BMWP/ Atitlán	Calidad del agua	Significado	Color
I	> 120	Excelente	Aguas de calidad excelente	Azul
II	91 - 120	Buena	Aguas de calidad buena, no contaminadas	Azul
III	61 - 90	Regular	Aguas de calidad regular, contaminación moderada	Verde
IV	36 - 60	Mala	Aguas de calidad mala, contaminadas	Amarillo
V	16 - 35	Muy mala	Aguas de calidad mala, muy contaminadas	Naranja
VI	< 16	Pésima	Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas	Rojo

Figura 8. Calidad de agua de los ríos según el índice BMWP/Atitlán y su ubicación geográfica dentro de la cuenca del lago Atitlán. (AMSCLAE/DICA, 2019)

Las microcuencas Tzununá, La Catarata y San Buenaventura fueron monitoreadas durante el 2018 y 2019 por lo que se pudo evaluar un cambio en un período de un año. En la figura 9 se puede observar que la calidad de agua de las tres microcuencas disminuyó, tanto la parte alta como la baja. Esto refleja que las acciones que se están implementando tienen un bajo impacto para controlar el deterioro de los cuerpos de agua, por lo que se deberán incrementar las acciones para que los recursos hídricos sean preservados y en el mejor de los casos mejorados. Cabe hacer la observación que en el caso de la parte alta de Tzununá, a inicios del 2019 en la aldea Tzununá se abrió una carretera que conecta hacia Santa Lucía y a San José Chacayá, y los movimientos de tierra se realizaron hacia el cauce del río Tzununá. Es evidente que la construcción de esta carretera tuvo un impacto muy fuerte en la calidad de agua del río Tzununá y en la biodiversidad (macroinvertebrados acuáticos), principalmente por el cambio de cobertura boscosa.

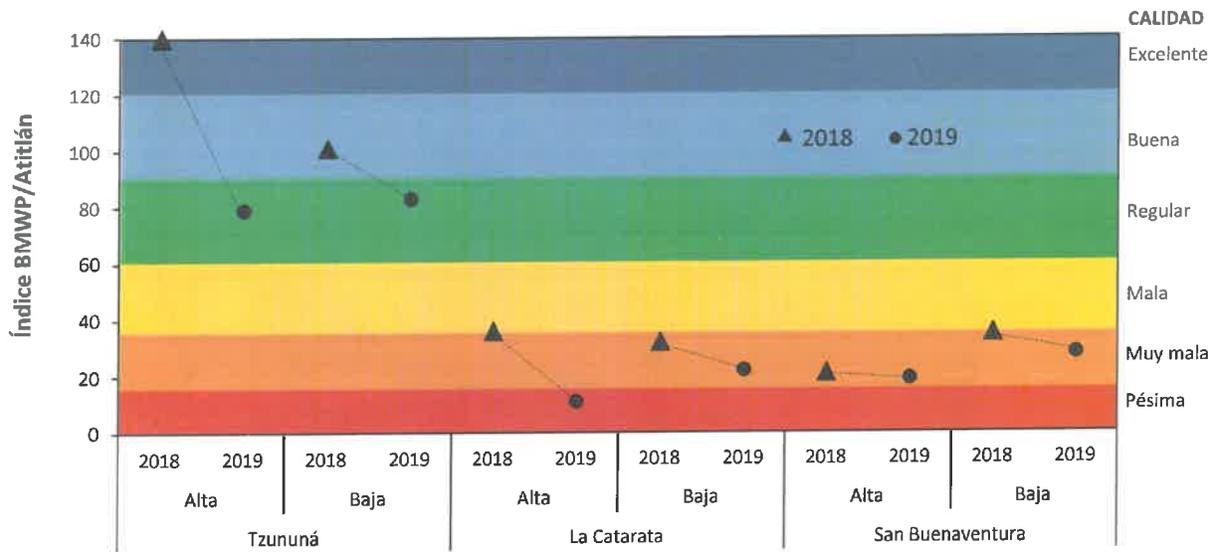


Figura 9. Comparación de la calidad de agua de las microcuencas Tzununá, La Catarata y San Buenaventura durante el 2018 y 2019. (DICA/AMSCLAE.2019).



Conclusiones

- La calidad de hábitat y agua entre todas las microcuencas varió entre pésima y excelente. Las diferencias están asociadas a la ubicación de los sitios de muestreo dentro de las microcuencas, el tipo de actividades que se desarrollen en cada microcuenca, el grado de conservación de la zona ribereña y la calidad ambiental de los recursos naturales (suelo y bosque) de cada sitio de muestreo.
- Las diferencias de calidad del hábitat y de agua entre la parte alta y baja de cada microcuenca, es evidencia del impacto que generan en los recursos naturales las diversas actividades humanas que se realizan dentro de la cuenca.
- En general e integrando cada uno de los índices, el 85 % de los sitios de muestreo están bajo malas condiciones de calidad de agua. Estos resultados reflejan que hay una degradación de la calidad ambiental de los recursos naturales (agua, suelo y bosque) dentro de la cuenca del lago Atitlán, lo cual tendrá un efecto en el lago Atitlán.

Recomendaciones

- Completar la línea base de calidad de agua de los afluentes de todas las microcuencas que tengan ríos permanentemente.
- Socializar los resultados obtenidos a nivel institucional, departamental, municipal y comunal para que se tenga el conocimiento de la calidad de agua de las microcuencas evaluadas durante el 2019 y se elaboren acciones conjuntas para reducir la degradación de los cuerpos de agua.
- Implementar programas de reforestación en las zonas ribereñas de los ríos, para reducir los ingresos de contaminantes derivados de las actividades humanas que se desarrollan dentro de la cuenca. Las zonas ribereñas interceptan, ciclan y acumulan componentes químicos en flujo subsuperficial en diversos grados, eliminando contaminantes del flujo superficial y el agua subterránea poco profunda.
- Ampliar la frecuencia de muestreos en cada microcuenca para evaluar cambios temporales y estacionales que puedan estar asociados a condiciones climáticas y/o actividades humanas.



Literatura consultada

- American Public Health Association, American Water Works Association. y Water Pollution Control Federation. (1992). *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. 17ª Ed. Editorial Díaz de Santos: Madrid, ES.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder & J.B. Stribling. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish*. Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C. EEUU.
- Bonilla, B., F. Carranza, J. Flores, C. Gonzáles, A. Arias & J. Chávez. 2010. Metodológica analítica para la determinación del índice de calidad del agua (ICA). Editorial Universitaria, San Salvador, El Salvador.
- Gutiérrez-Fonseca, P. (2010). *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Coleoptera en El Salvador*. San Salvador: Editorial Universitaria.
- Herrera, IR. (2011). *Manual de hidrología*. Universidad de San Carlos de Guatemala: Facultad de Agronomía y Red Centroamericana de Manejo de Recursos Hídricos. 259 p.
- Menjívar, RA. (2010). *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Diptera en El Salvador*. San Salvador: Editorial Universitaria.
- Pacheco-Chaves, B. (2010). *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Hemiptera en El Salvador*. San Salvador: Editorial Universitaria.
- Presidencia de la República. (2012, 12 de abril). Reglamento de la Ley de Creación de la Autoridad para el Manejo Sustentable del lago de Atitlán y su entorno/ Decreto Gubernativo No. 78-2012. *Diario de Centro América*, p. 1-6.
- Reyes, EMF. (2012). *Uso de macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad del agua en la cuenca del lago de Atitlán, Guatemala*. Tesis Maestría Académica en Biología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Roldán, G. y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. 2ª Ed. Imprenta Universidad de Antioquía: Colombia.
- Serrano Cervantes, L., y Zepeda Aguilar, A. (2010). *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Ephemeroptera en El Salvador*. San Salvador: Editorial Universitaria.
- Sermeño, JM., Pérez, D., Muños, SM., Serrano, L., Rivas, AW. & Monterrosa, AJ. (2010). *Metodología estandarizada de muestreo multi-hábitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la Red "D" en ríos de El Salvador*. Springer (Ed). San Salvador: Editorial Universitaria.
- Springer, M., Serrano Cervantes, L. & A. Zepeda Aguilar. (2010). *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Trichoptera*. San Salvador: Editorial Universitaria.

Anexo A. Plantilla para la evaluación de la calidad de hábitat en ríos (Modificada de Barbour *et al.*, 1999)

 AMSCLAE	DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL UNIDAD DE CALIDAD AMBIENTAL. BOLETA DE CAMPO PARA MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA DE RÍOS	Código: B - _____ Versión: 1.2 Emisión: 12/05/2017 Vigencia: 12/05/2017 Página: 2 de 2
--	---	--

EVALUACIÓN DE CALIDAD DE HÁBITAT												
Parámetro	Óptimo	Satisfactorio					Marginal					Pobre
1. Heterogeneidad de sustratos al igualarse para la especie	Más del 40% del sustrato es estable y permite ser utilizado por la especie (incluyendo presencia una mezcla de piedras, troncos, vegetación acuática y otros sustratos estables)	Entre el 40 y 70% del sustrato es estable. Además, existe un sustrato nuevo como se condiciones para ser habitado					Entre 30 y 40% del sustrato es estable. Poco o moderadamente perturbado o removido					Menos de un 30% del sustrato es estable. Ausencia de hábitats adecuados
Puntos:	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1					10 9 8 7 6					5 4 3 2 1
2. Emparejamiento del sustrato	Entre 50 y 75% de la superficie de rocas, plantas y grava está rodeado de sedimento fino	Entre 25 y 50% de la superficie de rocas, plantas y grava está rodeado de sedimento fino					Entre 50 y 75% de la superficie de rocas, plantas y grava está rodeado de sedimento fino					Más de un 75% de la superficie de rocas, plantas y grava está rodeado de sedimento fino
Puntos:	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1					10 9 8 7 6					5 4 3 2 1
3. Relación profundidad y velocidad	El trazo del río presenta las cuatro combinaciones: (shallow/ profundo) (fast/ slow) (shallow/ profundo) y (deep/ shallow)	Solo tres combinaciones. La ausencia de rápido/lento disminuye el menor puntaje					Solo dos combinaciones. La ausencia de rápido/lento y lento/lento disminuye el menor puntaje					Una sola combinación presente. Usualmente lento/profundo.
Puntos:	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1					10 9 8 7 6					5 4 3 2 1
4. Deposition de sedimentos	Ausencia de lodos o bancos de arena. Menos del 5% del fondo afectado por deposición de sedimentos.	Reduccion y escasa formación de bancos de arena, arena o sedimento fino. Entre 5 y 20% del fondo afectado por deposición de sedimento, ligera deposición en pozos					Deposición moderada de grava, arena o sedimento fino sobre bancos y pozos. Entre 20 y 50% del fondo afectado. Sedimentos sobre el sustrato, canales y pozos. Moderada deposición en pozos					Grandes depósitos de material fino. Muchos bancos. Más del 50% del fondo cubierto con frecuencia. Pocos con aumenos debido a la gran deposición de sedimentos.
Puntos:	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1					10 9 8 7 6					5 4 3 2 1
5. Estado del cauce de flujo	El nivel del agua alcanza la base de las rocas y la exposición del sustrato al fondo es mínima.	El agua sólo cubre el 25% del cauce o menos del 25% del sustrato al fondo queda expuesto.					El nivel del agua cubre entre el 25 y 75% del cauce y queda expuesta la mayor parte del sustrato de las ripidas					Muy poca agua sobre el cauce y la mayor como pozos.
Puntos:	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1					10 9 8 7 6					5 4 3 2 1
6. Alteración del cauce	Ausencia o mínima presencia de canalización o dragado. Ocurriendo caso cauce natural.	Claro canalización presente por pozos. Evidencia de canalización actual o pasada					Canalización extensa. Diques u otras estructuras presentes en zonas restringidas. Entre el 45 y 80% del trazo del río canalizado y alterado.					Márgenes protegidos con gabiones o cemento. Más del 80% del trazo del río canalizado y alterado. Los hábitats intermedios eliminados totalmente.
Puntos:	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1					10 9 8 7 6					5 4 3 2 1
7. Presencia de ripidas	Ocurriencia de ripidas relativamente frecuentes. La relación distancia entre ripidas y el ancho del río es < 7 (generalmente 5 o 7).	Ocurriencia de ripidas poco frecuentes. La relación distancia entre ripidas y el ancho del río es mayor entre 7 y 15.					Ocurriencia ocasional de ripidas. La relación distancia entre ripidas y el ancho del río es menor entre 15 y 25.					Por lo general el agua cubre sin interrupción o ripidas muy bajas. La relación distancia entre ripidas y el ancho del río es mayor a 25.
Puntos:	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1					10 9 8 7 6					5 4 3 2 1
8. Estabilidad de las márgenes	Las márgenes estables. Ausencia de erosión o deposición moderada. Poca posibilidad de problemas futuros. Menos del 5% de la margen está afectada	Pendientes de erosión. Posibilidad moderada. Entre 5 y 20% de las márgenes del trazo tiene áreas de erosión.					Inestabilidad moderada. Entre 20 y 50% de las márgenes del trazo tiene áreas de erosión. Posibilidad de fuerte erosión durante las crecidas.					Áreas muy erosionadas. Frecuencia de áreas afectadas por erosión moderada. Entre 50 y 80% de las márgenes del trazo erosionadas.
Margen Inestable:	10 9	8 7 6					5 4 3 2 1					
Margen Estable:	10 9	8 7 6					5 4 3 2 1					
9. Vegetación protectora de las riberas	Más del 90% de las márgenes y la zona de influencia está cubierta por vegetación nativa mediana alta, arbustos, matorrales, vegetación de tipo natural.	Entre el 70 y 90% de las márgenes cubiertas por vegetación nativa. Vegetación algo abierta.					Entre el 50 y 70% de las márgenes cubiertas por vegetación nativa. Vegetación abierta.					Menos del 50% de las márgenes cubiertas por vegetación nativa.
Puntos:	Margen Inestable: 10 9	8 7 6					5 4 3 2 1					
Puntos:	Margen Estable: 10 9	8 7 6					5 4 3 2 1					
10. Amplitud de la vegetación ribereña	Extensión de la vegetación ribereña mayor a 10 m y sin impacto antrópico.	Extensión de la vegetación ribereña entre 5 y 10 m y un impacto antrópico moderado.					Extensión de la vegetación ribereña entre 5 y 10 m y un impacto antrópico severo.					Extensión de la vegetación ribereña menor a 5 m. Poca o ninguna vegetación debido a un fuerte impacto antrópico.
Puntos:	Margen Inestable: 10 9	8 7 6					5 4 3 2 1					
Puntos:	Margen Estable: 10 9	8 7 6					5 4 3 2 1					

Control de emisión		
Elaboró:	Revisó:	Aprobó:
F: <u>Ana Isabel Arriola</u> Técnico en manejo de túf	F: <u>Elsa María Reyes</u> Jefe DICA	F: <u>Elsa María Reyes</u> Jefe DICA
Fecha:	Fecha:	Fecha:

Anexo B. Plantilla para la evaluación de las características del sitio de muestreo.

	DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL UNIDAD DE CALIDAD AMBIENTAL BOLETA DE CAMPO PARA MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA DE RÍOS	Código: B - _____ Versión: 1.4 Emisión: 27/06/2019 Vigencia: 27/06/2019 Página: 1 de 2								
DATOS GENERALES										
No. _____ Nombre del río: _____ Microcuenca: _____										
Fecha: _____ Hora: _____										
Coordenadas: X _____ Y _____ Altitud: _____ (msnm)										
Tipo de curso: _____ inicial _____ medio _____ bajo _____ desembocadura										
Velocidad del agua: _____ rápida _____ moderada _____ lenta _____ estancada										
Ancho: _____ cauce (m) _____ banco (m) Profundidad: _____ (m) Caudal _____ (m ³ /s)										
Tipo de sustrato: _____ arena _____ piedras-arena gruesa _____ concreto _____ arcillo-lodoso										
Rocas: _____ muy grandes _____ grandes _____ medianas _____ pequeñas										
Superficie de rocas: _____ limpia _____ perifiton _____ musgo _____ sedimento										
En el sitio hay: _____ hojarasca _____ troncos/ ramas sumergidos _____ raíces sumergidas										
Otra fauna: _____ renacuajos _____ peces _____ otros										
Color del agua: _____ Olor del agua: _____										
Presencia de: _____ des. org. _____ espuma _____ aceite _____ org. muertos _____ des. sólidos _____ des. aguas residuales _____ Otros										
Tiempo mx macroinvertebrados: _____										
Índice BMWP - Atitlán _____ Calidad _____ Color _____										
CONDICIONES AMBIENTALES										
Soleado _____ Nublado _____ Lluvioso _____ Otras condiciones _____										
Vegetación de la orilla: _____										
Vegetación dentro del agua: _____										
Exposición: _____ 100% sombra _____ sombra con ventanías _____ grandes claros _____ 100% expuestos										
Observaciones: _____										
CAUDAL										
V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	Vel. m/s
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Prof. (m)
* 0 - 1 m = 0.20 m; 1 - 2 m = 0.25 m; 2 - 4 m = 0.50 m; 4 - 8 m = 1.0 m										
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS										
Temperatura del agua	_____ °C	pH	_____							
Temperatura ambiental	_____ °C	Conductividad	_____ (µS/cm)							
Sólidos disueltos totales (TDS)	_____ (mg/L)	Salinidad	_____ (mg/L)							
Oxígeno disuelto	_____ (mg/L)	% Saturación	_____ %							
Sólidos sedimentables	_____ (ml/L)	Secchi	_____ cm							
DBO _{5, 20}	_____ (mg/L)	Turbidez	_____ FAU							
Nitratos	_____ (mg/L)	Fosfatos	_____ (mg/L)							
E. coli (NMP/100 ml)	_____ (NMP)	Cod. Lab.	_____							
Índice de calidad de agua (ICA) _____ Calidad _____ Color _____										
Participantes: _____										
Encargado de toma de muestras: _____										
Control de emisión										
Elaboró:	Revisó:	Aprobó:								
F: _____ Elsa María Reyes Jefe DICA	F: _____ Elsa María Reyes Jefe DICA	F: _____ Elsa María Reyes Jefe DICA								
Fecha: _____	Fecha: _____	Fecha: _____								

Anexo 1 Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del monitoreo de ríos del 2019. Saturación de Oxígeno (Oxí.), Conductividad (Cond.), Transparencia (Secchi), Turbidez (Turb.), Sólidos disueltos totales (TDS), *Escherichia coli* (*E. coli*), Demanda de Oxígeno (DBO), Nitratos (NO³), Fosfatos (PO⁴) y Temperatura del agua y ambiental (Amb.). (AMSCLAE/DICA, 2019)

Ubicación	Oxí (%)	Cond. (uS/cm)	pH	Secchi (cm)	Turb. (FAU)	TDS (mg/L)	<i>E. coli</i> (NMP/100ml)	DBO _{5,20} (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)	Temperatura Agua (°C)	Amb. (°C)
Argueta												
Alta	99.5	62.6	7.64	0	2	29.4	86	1.7	0.787	0.093	12.5	14
Baja	94.8	144.5	7.68	54	6	68.4	110,000	3.6	3.0208	0.133	17.5	19
La Catarata												
Alta	93.6	195.8	7.94	49	11	93.1	1,500	6.2	3.2	0.114	18.7	19
Baja	99.6	247	8.24	47	10	118	2,300	10	15.587	0.242	18.7	21
Panajachel												
Alta	99.8	234	8.14	3	237	111.7	> 1,100 x 10 ²	9.9	1.06	0.2	22	24
Baja	64	329	7.67	9	47	158	> 110,000	47	10.853	0.63	21	24
Quiscab												
Alta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Baja	102	187.4	8.38	15	26	89.1	110,000	4.8	13.334	0.138	22.1	27
San Buenaventura												
Alta	94.7	162.4	7.58	12	59	77	> 110,000	2.8	2.634	0.077	16.8	18
Baja	100	214.1	8.3	39	10	102.1	360	10	11.967	0.173	19.9	24
San Francisco												
Alta	101.4	204.9	8.16	6	117	97.5	> 110,000	7.6	1.77	0.289	18.5	21
Baja	99.8	234	8.14	3	237	111.7	> 1,100 x 10 ²	9.9	1.06	0.2	22	24
Tzununá												
Alta	101.3	123.2	8.11	63	8	58.2	750	16.9	0.48	0.05	18.5	25
Baja	102	122.3	8.11	13	35	57.8	24,000	3.6	6.954	0.04	19.6	24

Anexo 2. Abundancia total de macroinvertebrados acuáticos a nivel de familia u orden recolectados durante el 2019 dentro de la cuenca del lago Atitlán (AMSCLAE/DICA, 2019).

Microcuenca Ubicación / Familia	Catarata		Panajachel		San Buenaventura		Tzununá		Argueta		San Francisco		Quiscab
	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Alta	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Baja
Aeshnidae										5			
Baetidae		27	2			13	34	82	17	13	1	2	11
Belostomatidae								6					
Calopterygidae							1		3	2			
Chironomidae	11	26	1	72	18	5	2	12	5	21	5	1	40
Coenagrionidae										1			
Crambidae		2	1			1	1	2		1		1	
Dolichopodidae								1					
Dytiscidae	8	13			3							14	
Elmidae							17	14	25				
Empididae										1			
Ephydriidae								1					
Gerridae									3				
Glossiphoniidae				2									
Glossosomatidae							3	13	8				
Gyrinidae									2				
Heptageniidae							2		10				
Hydrobiosidae			1					5	25			1	
Hydrophilidae			1			2			4			1	
Hydropsychidae					2		12	2	6	6	2		3
Hydroptilidae							2						
Leptoceridae								1					
Leptohyphidae							5	6	3				
Leptophlebiidae									9				
Libellulidae								3		1			
Muscidae								2		10			
Nematomorpha													1
Ochteridae							1						
Oligochaeta	2	6		1		6		2		5	2		2
Perlidae							8		7				
Physidae		1		2						1			
Polycentropodidae									2				
Psychodidae			1	2				7			3	1	3
Simuliidae		14				9	1	33	2	1	5		41
Staphylinidae							1	1					
Tipulidae	2				1	1			12	7	1		2
Trombidiformes								6	2				
Turbellaria						1	1	4	6	5			
Veliidae					4				4				

Anexo 3. Resultados de los Índices RBP, ICA y BMWP/Atitlán (AMSCLAE/DICA, 2019)

Microcuenca/Ubicación		RBP			ICA			BMWP		
		Valor	Calidad	Color	Valor	Calidad	Color	Valor	Calidad	Color
Argueta	Alta	178	Muy Buena	Azul	85	Buena	Verde	111	Buena	Azul
	Baja	117	Regular	Amarillo	69	Regular	Amarillo	57	Mala	Amarillo
La Catarata	Alta	61	Mala	Naranja	67	Regular	Amarillo	11	Pésima	Rojo
	Baja	93	Regular	Amarillo	61	Regular	Amarillo	22	Muy Mala	Naranja
Panajachel	Alta	23	Pésima	Rojo	36	Mala	Naranja	26	Muy Mala	Naranja
	Baja	23	Pésima	Rojo	30	Mala	Naranja	11	Pésima	Rojo
Quiscab	Alta									
	Baja	98	Regular	Amarillo	42	Mala	Naranja	21	Muy Mala	Naranja
San Buenaventura	Alta	94	Regular	Amarillo	59	Regular	Amarillo	19	Muy Mala	Naranja
	Baja	104	Regular	Amarillo	69	Regular	Amarillo	28	Muy Mala	Naranja
San Francisco	Alta	79	Mala	Naranja	37	Mala	Naranja	21	Muy Mala	Naranja
	Baja	23	Pésima	Rojo	36	Mala	Naranja	26	Muy Mala	Naranja
Tzununá	Alta	172	Muy Buena	Azul	61	Regular	Amarillo	79	Regular	Verde
	Baja	106	Regular	Amarillo	54	Regular	Amarillo	83	Regular	Verde

Msc. Onelia Xicay Franco
Subdirectora Técnica
AMSCLAE



Msc. Elsa María de Patricia Reyes Morales
Jefe del Depto. de Investigación y
Calidad Ambiental
-AMSCLAE-





INFORME “MONITOREO DE LA SALUBRIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO, 2019”

Responsable: MSc. Elsa María Reyes, Jefe de Investigación y Calidad Ambiental.

I. INTRODUCCIÓN

El Departamento de Investigación y Calidad Ambiental –DICA-, de la AMSCLAE, realiza desde 2012 el monitoreo de salubridad de fuentes de agua para consumo humano, en el que se evalúan parámetros de calidad microbiológica y fisicoquímica del agua del lago con que se abastecen las municipalidades de Santiago, San Lucas Tolimán y San Pedro La Laguna. Durante el 2019 se evaluaron los puntos donde las municipalidades de San Lucas Tolimán, San Pedro La Laguna y Santiago Atitlán bombean agua del lago para abastecer a sus pobladores.

II. OBJETIVOS

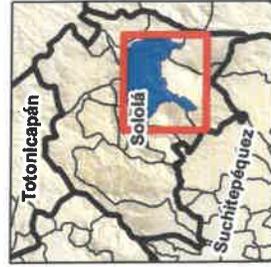
Determinar la calidad del agua en los puntos donde las municipalidades de Santiago, San Lucas Tolimán y San Pedro La Laguna bombean agua del lago para consumo humano.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Se monitorearon los puntos de muestreo en los municipios que bombean agua del lago (San Lucas Tolimán, Santiago Atitlán y San Pedro La Laguna) (Fig. 1). En marzo (temporada seca) y septiembre (temporada lluviosa) se recolectaron muestras en los puntos donde se encuentran las bombas. En las tomas de agua ubicadas dentro del lago Atitlán se recolectaron muestras superficiales, siguiendo los procedimientos del POE-23 “Procedimiento para la recolección y transporte de muestras de agua para consumo humano y medición de parámetros *in situ*.”

El transporte de las muestras se realizó en cadena de frío a 10°C aproximadamente y fueron procesadas dentro de las primeras seis horas luego de su recolección, siguiendo los procedimientos establecidos en el POE-17 “Análisis microbiológico de aguas: método filtración por membrana”, empleando el sistema Petrifilm™ como medio para el aislamiento e identificación de coliformes totales y *E. coli*. La normativa COGUANOR NTG 29 001 establece que, con el método de filtración por membrana, las bacterias coliformes y *E. coli* deben ser indetectables en 100 ml de agua para consumo humano (en los grifos). No obstante, la normativa no establece los límites para fuentes naturales de agua. La ausencia de las mismas se interpreta como que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es apta para el consumo humano. En este informe, así como en los anteriores, se analizan los resultados obtenidos para *E. coli*, debido a que estos microorganismos son más específicos que los coliformes totales para establecer la ocurrencia de contaminación fecal reciente, debido a su incapacidad de reproducirse y sobrevivir en ambientes naturales.

Los parámetros físicos pH, conductividad eléctrica - CE- y los sólidos totales disueltos –TDS- se midieron *in situ* con la sonda multi-paramétrica HACH HQ40.



Sistema de coordenadas: GTM
 Datum del mapa: WGS 1984
 Fuente: Cartografía MAGA-IGN
 Departamento de Investigación y Calidad Ambiental

Fecha Elaboración: 23/09/2019

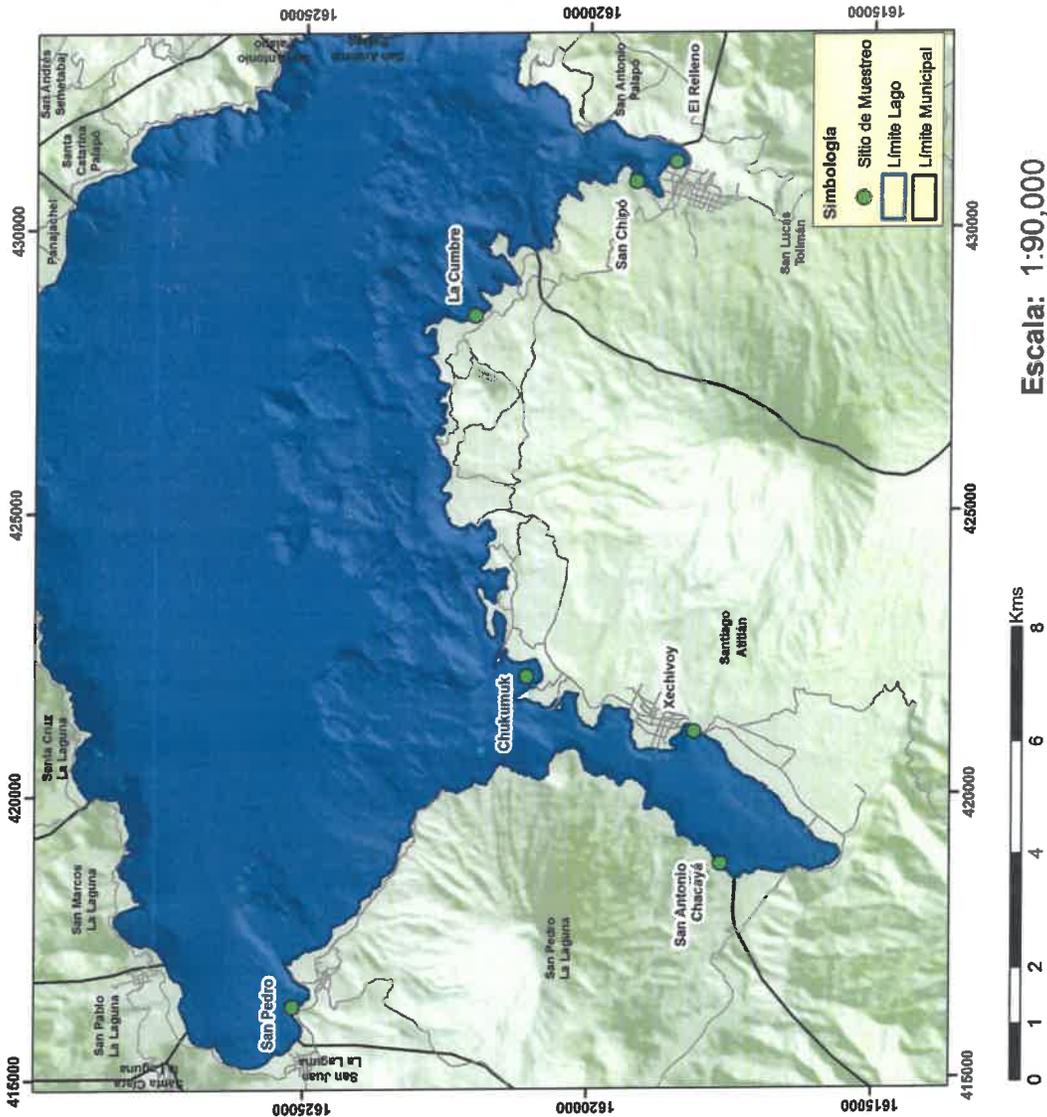


Figura 1. Mapa de Ubicación de los sitios de muestreo durante el 2019.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los cuadros 1 y 2 se presentan los resultados obtenidos en los sitios de muestreo durante el 2019. Las bacterias coliformes totales y *Escherichia coli* son reportadas en unidades formadoras de colonias -UFC- por 100 ml de agua filtrada (Cuadro 1). Los resultados de microbiológicos indican que los puntos de bombeo tienen altas densidades de bacterias coliformes y *Escherichia coli*. Las densidades de los microorganismos fueron mayores en la época seca (mar) en comparación a la lluviosa (sep). Esto puede deberse a que en la superficie haya un efecto de dilución por las lluvias.

Cuadro 1. Resultados de coliformes totales* (UFC/100 ml) y *Escherichia coli*** (UFC/100 ml), marzo y septiembre 2019 (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019)

Municipio	Fuente/Toma	Época Seca		Época lluviosa	
		Mar/2019		Sep/2019	
		CT*	EC**	CT*	EC**
	Toma San Antonio Chacayá	80	8	42	4
Santiago Atitlán	Toma Xechivoy	360	180	52	10
	Toma Chuk Muk	12	0	12	0
	Toma La Cumbre	7	2	12	0
San Lucas Tolimán	Toma San Chipójj	35	20	760	100
	Toma El Relleno	90	0	36	6
San Pedro La Laguna	Toma San Pedro	170	50	110	10

(Fuente: DICA – AMSCLAE, 2019)

Los resultados de los análisis físicos se presentan en el cuadro 2, así se incluyen los valores de referencia, con base en la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29 001 aplicable a agua para consumo humano, de cada variable para comparar si cumplen los valores. El pH del lago Atitlán es levemente básico, por lo que en la mayoría de los casos no cumple con el límite máximo recomendado por la norma nacional que es de 8.5 unidades.

Cuadro 2. Cumplimiento de los parámetros físicos y químicos de las tomas de los municipios estudiados, según la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29 001. (Fuente: DICA – AMSCLAE, 2019)

Municipio	Temporada Seca			Temporada Lluviosa		
	pH (6.5-8.5) ¹	CE (750-1500 μS/cm) ²	TDS (500-1000 mg/l) ²	pH (6.5-8.5) ²	CE (750-1500 μS/cm) ²	TDS (500-1000 mg/l) ²
Santiago Atitlán						
Toma San Antonio Chacayá	8.99	467	226	8.83	448	221
Toma Xechivoy	8.88	471	227	8.52	457	226
Toma Chuk Muk	9.00	467	226	8.76	455	224
Toma La Cumbre	9.06	464	224	8.75	454	223
San Lucas Tolimán						
Toma San Chipój	9.07	465	225	9.31	440	212
Toma El Relleno	9.25	459	222	8.81	452	224
San Pedro La Laguna						
Toma San Pedro	9.08	465	225	8.77	457	222

(Fuente: DICA – AMSCLAE, 2019)

¹Límite máximo permisible, según la normativa 29 001.

² Límite máximo aceptable – límite máximo permisible, según la normativa 29 001.

La toma de agua de Chuk Muk y La Cumbre, ambas ubicadas en el municipio de Santiago Atitlán, fueron los únicos puntos que no presentaron *E. coli* o al menos los valores fueron menores a 2 colonias por 100 ml (Fig. 2c) en cuatro años. Al tener estos valores cumplen con la norma COGUANOR, a pesar que la norma solo establece límites para agua para consumo humano (grifos residenciales). La toma de San Pedro La Laguna y San Chipój, San Lucas Tolimán presentaron valores por debajo de las 50 colonias por 100 ml, lo cual se considera un poco alto (Fig. 2a). No obstante, no son tan elevados como los que se registraron en El Relleno ubicado en San Lucas Tolimán, Xechivoy y San Antonio Chacayá ambos ubicados en Santiago Atitlán, donde los valores oscilaron entre cuatro y 140 colonias por 100 ml (Fig. 2a y b). La cercanía a centro poblados puede comprometer la calidad de agua del lago Atitlán. El incremento de la carga microbiológica en las tomas de agua puede deberse a la descarga y/o arrastre por escorrentía pluvial de aguas residuales, tal y como ocurre en Xechivoy, San Antonio Chacayá, El Relleno, San Chipój y San Pedro. Los poblados ubicados en la parte sur de la cuenca del lago Atitlán no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales, solo letrinas o fosas sépticas. La infiltración de las excretas humanas en las letrinas hacia el manto freático, puede llegar a contaminar el agua del lago Atitlán, y como consecuencia comprometer la calidad de agua para consumo humano de los municipios que utilizan el agua del lago Atitlán.

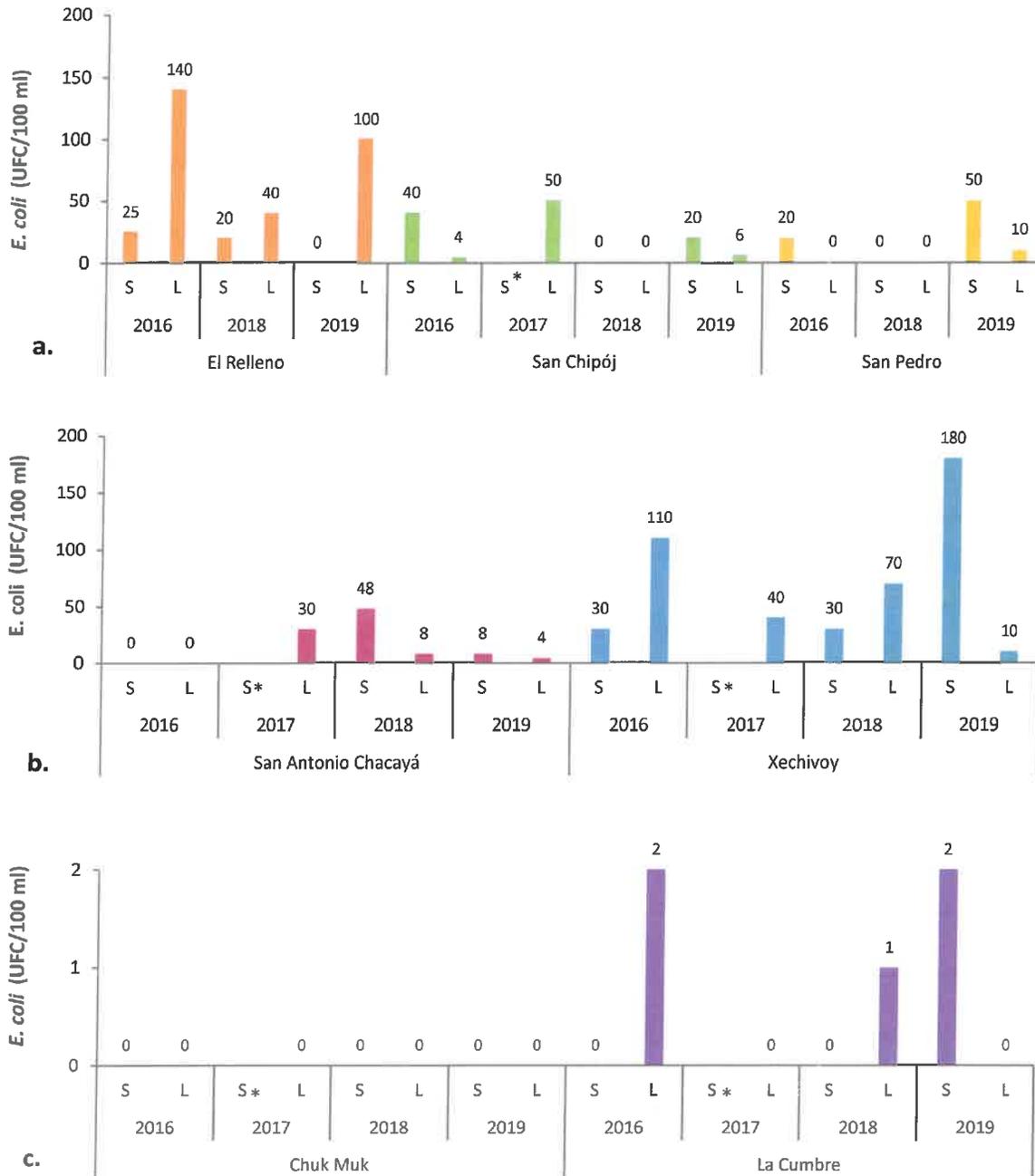


Figura 2. Variación temporal de *E. coli* en las fuentes de agua para consumo humano en los municipios de San Lucas Tolimán (a), San Pedro La Laguna (a) y Santiago Atitlán (b y c). Temporada Seca (S) y Temporada Lluviosa (L). No Data (ND) (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2016 – 2019).

* No hay datos disponibles, porque el laboratorio estuvo cerrado por traslado de instalaciones.



V. CONCLUSIONES

Como en años anteriores, se encontró que el agua del lago Atitlán, sin ningún tratamiento, no es apta para el consumo humano. Es ampliamente conocido que las aguas superficiales contienen una extensa gama de microorganismos, que no son necesariamente nocivos para la salud o para el tratamiento del agua (Aurazo, 2004). Entre ellos se pueden mencionar algunos pertenecientes al grupo coliformes (bacterias de vida libre que no causan enfermedades al ser humano). Sin embargo, existen aquellos que llegan al agua a través de eventos naturales o actividades antropogénicas (*e.g.* agricultura, aguas residuales, lixiviados de rellenos sanitarios), que sí implican un riesgo de transmisión de enfermedades hídricas. Entre los agentes patógenos involucrados en la transmisión por esta vía están bacterias, virus, protozoos, helmintos y cianobacterias, que pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad (Aurazo, 2004).

El objetivo de este monitoreo, más que el de realizar un programa de vigilancia propio de otras instancias, es el de coadyuvar en el establecimiento de soluciones y alternativas aplicables por las municipalidades ubicadas al sur de lago, que utilizan este recurso para abastecer a sus poblaciones. El lago y demás fuentes superficiales son, en la mayoría de los casos, fuentes de agua no apta para consumo sin un tratamiento adecuado; sin embargo, la degradación de la calidad de las aguas superficiales del país supone uno de los problemas de salud más preocupantes en Guatemala.

VI. RECOMENDACIONES

Las municipalidades son responsables de garantizar el establecimiento, funcionamiento y administración del servicio de abastecimiento domiciliario de agua potable (debidamente clorada) y sus correspondientes instalaciones, equipos y red de distribución (Decreto 12-2002). Se exhorta a las municipalidades evaluadas a continuar con los trabajos encaminados a mejorar el servicio de abastecimiento y la calidad del agua distribuida a las poblaciones.

Debe tomarse en cuenta que una muestra aislada determina la calidad del agua en el momento de su recolección, según se establece en el "Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano", del acuerdo ministerial 523-2013 del Ministerio de Salud. Este manual determina las especificaciones técnicas que se deben aplicar para la vigilancia y el control de calidad del agua para consumo humano en Guatemala. En el manual también se determinan las especificaciones técnicas a tomar en cuenta para la vigilancia y el control de calidad del agua para consumo humano en Guatemala. Se recomienda a las municipalidades que no cuentan con un control de calidad de agua para consumo humano, la implementación de un programa de vigilancia continua en todos los componentes de sus sistemas de abastecimiento de agua.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aurazo, M. (2004). Capítulo 2: Aspectos biológicos de la calidad del agua. En: Tratamiento de agua para consumo humano – *Plantas de filtración rápida*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –CEPIS- y Organización Panamericana de la Salud –OPS-. Lima: CEPIS/OPS.
2. COGUANOR, NGO 29 001. (1999). Norma Guatemalteca Obligatoria: Agua Potable.
3. Congreso de la República de Guatemala. Decreto Número 12-2002. Código Municipal.
4. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Acuerdo Ministerial No. 523-2013. “Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano”.



MSc. Onelia Xicay Frances
Subdirectora Técnica
AMSCLAE



MSc. Elsa María de Pina Reyes Morales
Jefe del Depto. de Investigación y
Calidad Ambiental
-AMSCLAE-

MONITOREO DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA EN EL LAGO ATITLÁN – 2019

Encargada: MSc. Elsa María Reyes Morales (*Jefe del Depto. de Investigación y Calidad Ambiental*).

Introducción

El término *macrófitas*, *hidrófitas* o *plantas acuáticas* se refiere al grupo de plantas macroscópicas que tienen sus estructuras vegetativas creciendo permanente o periódicamente en ambientes acuáticos (Fig. 1). Las macrófitas incluyen macroalgas de las divisiones Chlorophyta, Xantophyta, Charophyta, Rhodophyta y Cyanobacteria; también Bryophyta, Pteridophyta y Spermatophyta (Thomaz *et al.*, 2011).

El papel de las plantas acuáticas dentro de los ecosistemas, es esencial. Entre sus funciones podemos mencionar: Modifican las características fisicoquímicas del agua y sedimentos; participan en los ciclos de los nutrientes; pueden formar parte del alimento de invertebrados y vertebrados, como biomasa viva y como detritus; proporcionan hábitat y/o sitios de reproducción a otros organismos como el plancton, peces, aves, entre otros; modifican la estructura espacial del paisaje acuático al aumentar la complejidad del hábitat; y poseen valor paisajístico (Posada García & López Muñoz, 2011; Thomaz *et al.*, 2011).

Existen diversos factores, principalmente ambientales (*i.e.*, luz, temperatura del agua, composición del sedimento, disponibilidad de carbono inorgánico, entre otras) y sus interacciones. Ambos factores determinan, la presencia, productividad, distribución y composición de la comunidad de macrófitas en cualquier ecosistema. La temperatura y la luz son importantes para determinar la morfología y distribución, así como la productividad y la composición de especies. Los sedimentos son una fuente importante de nutrientes, principalmente nitrógeno, fósforo y micronutrientes, los cuales se encuentran relativamente menos disponibles en la superficie del agua en la mayoría de los ecosistemas acuáticos (Barko *et al.*, 1986).



Figura 1. Pashte (*Hydrilla verticillata* y *Potamogeton pectinatus*) en el lago Atitlán (DICA/AMSCLAE, 2019).

Justificación

Debido a que las plantas acuáticas pueden utilizarse para evaluar el estado ecológico de un cuerpo de agua (Cirujano *et al.*, 2005), es importante conocer la composición y abundancia relativa de las principales especies de macrófitas que habitan en el lago Atitlán; para conocer la diversidad de vegetación acuática y para evaluar el efecto que los cambios, de origen natural y antropogénico, ocasionan en las comunidades vegetales.

Entre las funciones del Departamento de Investigación y Calidad Ambiental (Acuerdo Gubernativo 78-2012), se encuentra formular y ejecutar proyectos de investigación científica que permitan entender y atender mejor el complejo ecosistema lacustre y su cuenca hidrográfica, verificar el grado de avance técnico de los mismos y elaborar los informes técnicos que correspondan. Lo antes expuesto con el fin de conservar y manejar las zonas litorales del lago Atitlán.

Objetivos

- Identificar las especies de plantas acuáticas presentes en diez sitios de muestreo en el lago Atitlán.
- Evaluar los cambios en la abundancia y diversidad de la vegetación acuática espacial y temporalmente; así como los posibles factores que influyen en esta variación.

Materiales y métodos

Área de estudio

Durante el 2019 se monitorearon diez sitios ubicados en la zona litoral del lago Atitlán (Cuadro 1) (Fig. 2). Estos sitios se establecieron con base en las condiciones morfológicas y a las actividades que se realizan en la zona litoral.

Cuadro 1 Ubicación de los sitios de muestreo

Sitio de muestreo	Municipio	Coordenadas	
		X	Y
Quiscab	Sololá	426430	1630113
San Pablo	San Pablo La Laguna	416191	1627096
Uxlabil	San Juan La Laguna	415915	1625066
Fondo Bahía Santiago	Santiago Atitlán	418980	1615794
Isla de los Gatos	Santiago Atitlán	422511	1621463
Pahuacal - Cerro de Oro	Santiago Atitlán	428893	1621635
Tzanhuacal - Cerro de Oro	Santiago Atitlán	429057	1621271
Entrada San Lucas	San Lucas Tolimán	430870	1616036
El Relleno	San Lucas Tolimán	431143	1618358
San Antonio	San Antonio Palopó	433207	1625272

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019.

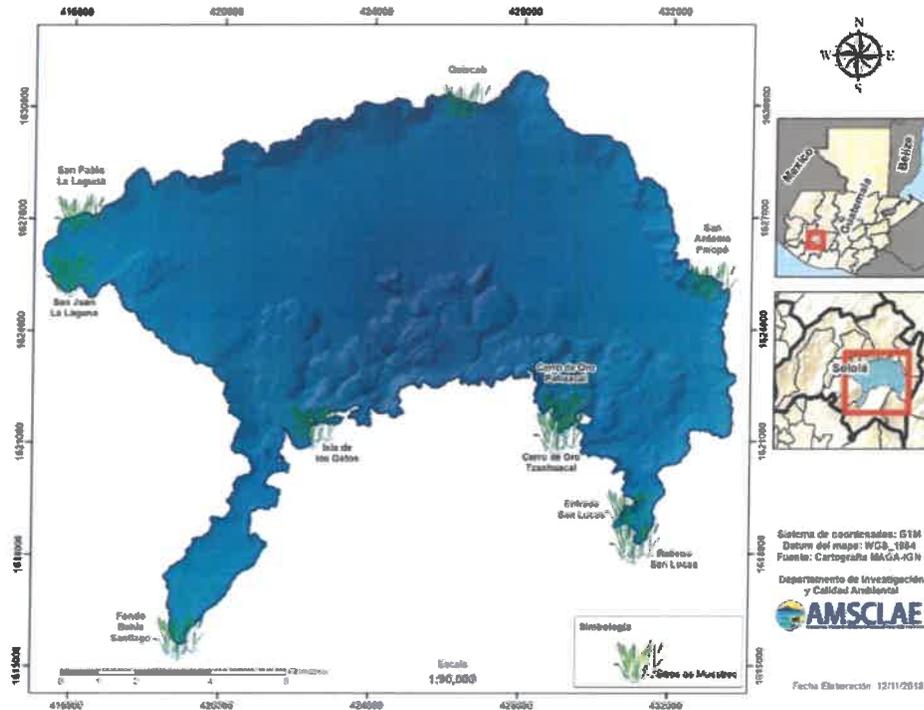


Figura 2 Ubicación de los sitios de muestreo (DICA/AMSCLAE, 2018).

Método

Para realizar el monitoreo de macrófitas, se utilizó la Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva MARCO del Agua sobre los Protocolos de muestreo y análisis de macrófitas del 2005 (Cirujano *et al.*, 2005).

Frecuencia de muestreo

Durante el 2019 se realizaron dos muestreos (marzo y septiembre).

Procedimiento

Con base en la Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva MARCO del Agua, se realizó un transecto perpendicular a un punto específico en tierra, de aproximadamente 50 metros, tomando todas las especies de vegetación acuática que se encontraron. En cada sitio se anotó el nombre de cada especie, su abundancia relativa (Cuadro 2), se registraron parámetros fisicoquímicos *in situ* y se anotaron las condiciones medioambientales (Cirujano *et al.*, 2005). Se tomaron fotografías con ayuda de una cámara subacuática.

Cuadro 2. Escala de cobertura para la cuantificación de vegetación acuática

Escala	Abundancia de cada especie	Porcentaje de cobertura (%)
	Descriptor	Clase
1	Rara	Individuos aislados
2	Ocasional	1 – 10 %
3	Frecuente	10 – 50 %
4	Abundante	50 – 70%
5	Muy abundante (dominante)	> 70 %

Fuente: Cirujano *et al.*, 2005.

Resultados y discusión

Abundancia y diversidad de macrófitas

Durante el 2019, se registraron 22 especies distribuidas en 16 familias (Cuadro 3). *Hydrilla verticillata* fue la especie más abundante, ya que se encontró en todos los sitios de muestreo. El tul macho *Schoenoplectus californicus* y el pashte *Ceratophyllum demersum* fueron de las especies que se registraron en ocho y siete de los diez sitios de muestreo, respectivamente. Las especies menos abundantes, encontradas únicamente en un sitio de muestreo fueron *Chara*, *Egeria*, *Eichhornia* y *Potamogeton illinoensis*. En el 2019 los sitios con mayor diversidad fueron San Juan La Laguna (Uxlabil), Isla de los Gatos (Santiago Atitlán) y el fondo de la bahía de Santiago Atitlán (Cuadro 3).



Figura 3 *H. verticillata* en el lago Atitlán (DICA/AMSCLAE, 2019).

Durante el 2019, al igual que en años anteriores, la única especie que se encontró en todos los sitios de muestreo, con una abundancia relativa de cinco (muy abundante) fue *H. verticillata* (Fig. 3). *Hydrilla* es una de las plantas acuáticas invasoras que más problemas ha generado a nivel mundial. Esto puede deberse a su alta capacidad para adaptarse y a su gran tasa de crecimiento y de producción de semillas, debido a que puede multiplicarse vegetativamente mediante fragmentación, formación de turiones y tubérculos (García Murillo *et al.*, 2009).

La *Hydrilla* es una especie exótica que ha sido catalogada por expertos como la “maleza acuática perfecta” (García Murillo *et al.*, 2009). Como en otros países, en el lago Atitlán esta planta ha generado problemas a la población, tales como cierre de áreas para navegación, zonas de recreación (playas) y servidumbre (muelles para desembarco). Durante el segundo muestreo (septiembre), se encontró una mayor abundancia de *Hydrilla* en la mayoría de sitios de muestreo, incluso interfiriendo con el ingreso a algunos sitios de muestreo.

Durante el 2019, el tul macho *S. californicus* (Fig. 4) se encontró en ocho de los diez sitios de muestreo. Esta macrófita comúnmente se encuentra en humedales, orillas de ríos y desembocadura de arroyos. Está completamente adaptada al medio acuático y puede adaptarse y desarrollarse en suelos de inundación permanente. Debido a sus rizomas, son eficientes para retener nutrientes y de suelo, estabilizando la costa (Plan ceibal, s.f.).



Figura 4 *S. californicus* en el lago Atitlán (DICA/AMSCLAE, 2018).



Figura 5 *Ceratophyllum demersum* en el lago Atitlán (DICA/AMSCLAE, 2018).

El “pashte” *Ceratophyllum demersum* se registró en siete de los diez sitios de muestreo, por lo que fue la tercera especie con mayor presencia durante los muestreos. *C. demersum* es una planta cosmopolita, casi totalmente sumergida, flotante y sin raíces (Fig. 5). Se encuentra asociada a aguas eutróficas, lentas o con poca corriente, turbias y profundas (Giménez, 2009; García Murillo *et al.*, 2009; Best, 1981).

De las 16 familias identificadas durante el 2019, siete están asociadas a cuerpos de agua y nueve se consideran estrictamente acuáticas, siendo estas, Aracea, Salviniaceae, Ceratophyllaceae, Cyperaceae, Hydrocharitaceae, Pontederiaceae, Potamogetonaceae, Typhaceae y Characeae. Characeae son algas verdes, sin embargo, por ser macroalgas se consideran próximas a las plantas acuáticas.

En las figuras 6, 7 y 8 se puede observar la variación espacial y temporal de la diversidad de especies desde el 2016 hasta la fecha; en algunos puntos de muestreo es evidente la disminución de la biodiversidad. Este cambio en el tiempo puede estar aunado a una diversidad de variables, tales como oscilación del nivel del agua, incremento de ingreso de nutrientes por aguas residuales y fertilizantes, degradación y alteración de la zona litoral, crecimiento extensivo de malezas acuáticas, mal manejo de la cuenca, cambio de las condiciones ambientales (*e.i.*, temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto), crecimiento de la frontera agrícola, desarrollo urbano, entre otras.



Cuadro 3 Listado taxonómico de vegetación acuática y escala de cobertura en cada sitio de muestreo durante el 2019.

Familia	Taxa	Quiscab	Sn Pablo	Uxlabil	Santiago (Fondo)	Isla de los Gatos	Pahuacal	Tzanhuaacal	Entrada San Lucas	El Relleno	Sn Antonio
Amaranthaceae	<i>Habenaria repens</i>				1						
Araceae	<i>Lemna valdiviana</i>			2	1	3				1	
Araceae	Malanga			1							
Araceae	<i>Wolffia sp.</i>		1	1	1	4					
Araliaceae	<i>Hydrocotyle umbellata</i>			1		2					
Ceratophyllaceae	<i>Ceratophyllum demersum</i>		1	1	1	1	1	1		1	
Characeae	<i>Chara sp.</i>						2	1			
Commelinaceae	<i>Commelina sp.</i>					1					
Convolvulaceae	<i>Ipomoea sp.</i>			2							
Cyperaceae	<i>Cyperus sp.</i>			1		1					
Cyperaceae	<i>Schoenoplectus californicus</i>		3		5		2	3	4	2	5
Fabaceae	Gen. Indet.			1							
Hydrocharitaceae	<i>Egeria densa</i>			1		2					
Hydrocharitaceae	<i>Hydrilla verticillata</i>		5	5	5	5	5	5	5	5	5
Poaceae	<i>Phragmites sp.</i>		4		1						
Poaceae	Gen. Indet.					1					
Polygonaceae	<i>Polygonum sp.</i>			1						1	
Pontederiaceae	<i>Eichhornia crassipes</i>				5					4	
Potamogetonaceae	<i>Potamogeton illinoensis</i>						2				1
Potamogetonaceae	<i>Potamogeton pectinatus</i>							3			2
Salviniaceae	<i>Azolla filliculoides</i>		1	4	1	3				1	
Typhaceae	<i>Typha domingensis</i>			5	5	5	5	5	5	5	5

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019.

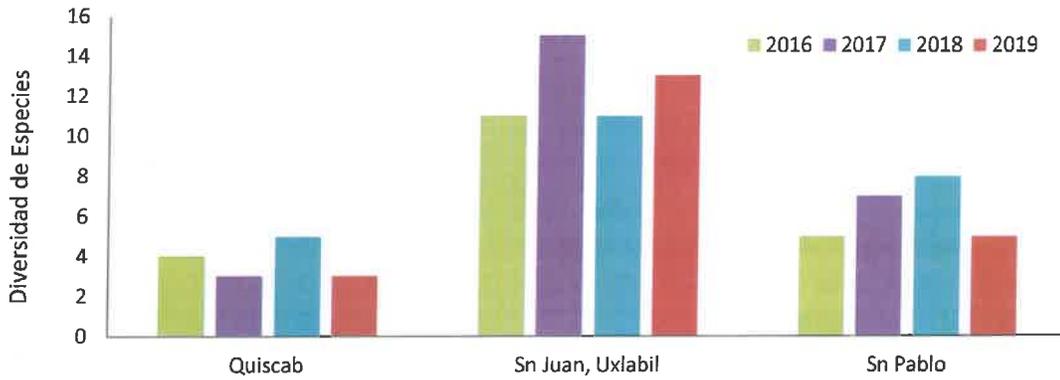


Figura 6. Variación espacial y temporal de macrófitas en Sololá (Quiscab), San Juan La Laguna (Uxlabi) y San Pablo La Laguna. (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019)

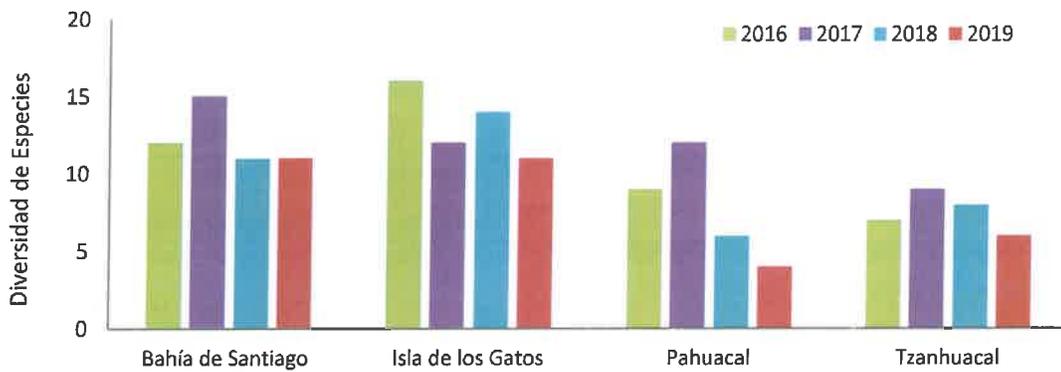


Figura 7. Variación espacial y temporal de macrófitas en Santiago Atitlán. (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019)

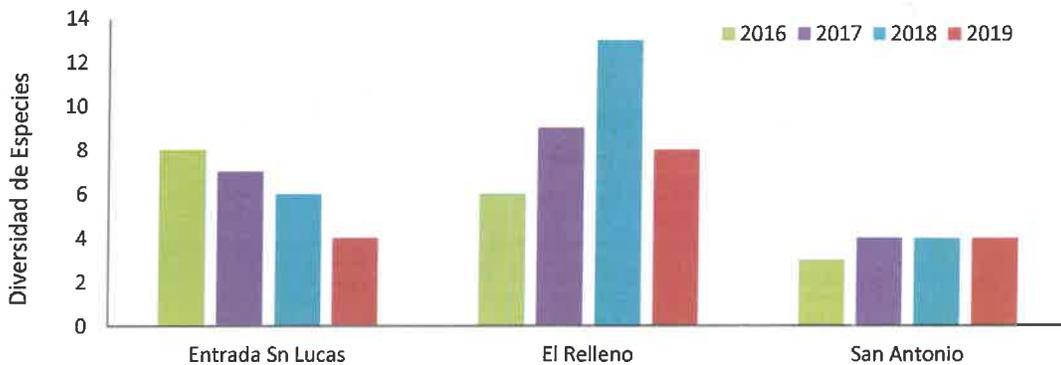


Figura 8. Variación espacial y temporal de macrófitas en San Lucas Tolimán (Entrada y Relleno) y San Antonio Palopó. (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019)

Sitio 1 Quiscab

El sitio se encuentra ubicado al lado de la desembocadura del río Quiscab (Fig. 9), por lo que se encuentra fuertemente impactado por descargas de sedimentos y desechos sólidos que son arrastrados por el río. En ambas fechas las especies registradas fueron tres y con una escala de abundante y muy abundante.



Figura 9. Sitio "Quiscab" (DICA/AMSCLAE, 2019).

Sitio 2 San Pablo

El sitio se encuentra ubicado en una pequeña bahía de San Pablo La Laguna (Fig. 10). Es un sitio protegido principalmente del viento y las corrientes, por estar ubicado en una bahía. En marzo se registraron cinco especies y en septiembre tres. La disminución de la diversidad puede estar asociado a la disminución del nivel del lago y al incremento del ingreso de desechos líquidos y sólidos por las lluvias en el sitio.



Figura 10. Sitio "San Pablo" (DICA/AMSCLAE, 2019).

Sitio 3 Uxlabil

El sitio se encuentra ubicado en la bahía de San Juan La Laguna (Fig. 11), aledaño a zonas de cultivo. En marzo se registraron ocho especies estrictamente acuáticas y en septiembre cuatro. El cambio de la composición de especies pudo deberse a que bajó el nivel del lago y a que el área fue talada para cultivos. Seis especies asociadas a zonas inundadas y que no son estrictamente acuáticas fueron registradas en este sitio.



Figura 11. Sitio "Uxlabil" (DICA/AMSCLAE, 2019).



Figura 12. Sitio "Fondo Bahía de Santiago" (DICA/AMSCLAE, 2019).



Figura 13. Sitio "Isla de los gatos" (DICA/AMSCLAE, 2019).



Figura 14. Sitio "Pahuacal" (DICA/AMSCLAE, 2019).

Sitio 4 Fondo Bahía Santiago

El sitio se encuentra ubicado en la bahía de Santiago Atitlán (Fig. 12). Por ubicarse en una bahía, es un sitio protegido de la acción del viento y las corrientes. En este sitio se encuentra una de las poblaciones más grandes de tul. En marzo se registraron diez especies y en septiembre cinco. El cambio de la composición de especies pudo deberse a que bajó el nivel del lago y al incremento del crecimiento de *H. verticillata*.

Sitio 5 Isla de los gatos

El sitio se encuentra ubicado en una bahía de Santiago Atitlán (Fig. 13). Es un sitio con una alta diversidad de vegetación acuática ya que se encuentra en un sitio protegido de la acción de los vientos y las corrientes. En marzo se registraron once especies y en septiembre ocho. El cambio de la composición de especies solo fue en las especies asociadas, en el sitio se mantuvo el mismo número de plantas estrictamente acuáticas.

Sitio 6 Pahuacal

El sitio de muestreo se encuentra ubicado en el cantón Pahuacal de la aldea Cerro de Oro, Santiago Atitlán (Fig. 14) y se encuentra rodeado por chalets. En marzo se registraron cuatro especies y en septiembre solo *H. verticillata*. Cabe mencionar que debido a la alta cobertura de *Hydrilla* no se pudo acceder a la orilla, por lo que no se pudo registrar especies que estuvieran en la orilla. Además, todo el tul estaba cortado.

Sitio 7 Tzanhuacal

El sitio de muestreo se encuentra ubicado en el cantón Tzanhuacal de la aldea Cerro de Oro, Santiago Atitlán (Fig. 15). En marzo se registraron cuatro especies y en septiembre cinco. Cabe mencionar que no se pudo acceder a la orilla debido al crecimiento excesivo de *Hydrilla*, y que gran parte del tul estaba cortado. *Chara sp.* fue reportada en el 2014 y no volvió a aparecer, sino hasta el 2019.



Figura 15. Sitio "Tzanhuacal" (DICA/AMSCLAE, 2019).

Sitio 8 Entrada San Lucas

El sitio se encuentra ubicado en la entrada de la bahía de San Lucas Tolimán (Fig. 16). El sitio está fuertemente expuesto a viento y existe cierta influencia de origen antropogénico debido al bombeo de agua del lago para la comunidad. En este sitio se mantuvo la diversidad de especies durante el 2019, sin embargo, ha disminuido en el tiempo.



Figura 16. Sitio "Entrada San Lucas" (DICA/AMSCLAE, 2019).

Sitio 9 El Relleno

El sitio se encuentra ubicado en la bahía de San Lucas Tolimán en el área conocida como "el relleno" (Fig. 17). El sitio está fuertemente impactado por actividades humanas ya que en la orilla se encuentran los lavaderos públicos y/o regularmente personas lavan ropa en la orilla del lago. El número de especies se mantuvo similar, no obstante, en marzo había una gran cobertura por *Lemna* y *Azolla* y en septiembre eran escasas o ausentes, esto pudo deberse al incremento de *Hydrilla* y a la disminución del nivel del lago.



Figura 17 Sitio "El Relleno" (DICA/AMSCLAE, 2019).

Sitio 10 San Antonio



Figura 18 Sitio "San Antonio" (DICA/AMSCLAE, 2019).

El sitio se encuentra ubicado cerca del límite municipal entre San Antonio y Santa Catarina Palopó (Fig. 18). El sitio está fuertemente impactado por el viento y existe cierta influencia humana debido a la presencia de cultivos de hortalizas en la orilla. La composición de especies en ambas fechas de muestreo fue similar, no obstante, el número de especies es baja (cuatro). Esto puede deberse al impacto de los cultivos que están en la orilla.

De forma general, la diversidad de vegetación acuática estrictamente acuática en el lago Atitlán ha sido muy cambiante en los últimos seis años (Fig. 19) (Anexo 1). Esto puede estar asociado a la degradación ambiental, disminución de la calidad de agua, impacto de las actividades antropogénicas en la zona litoral del lago (p.ej. extracción de vegetación acuática, construcción de chalets, construcción de muelles) y en las orillas del lago (p.ej. destrucción de la

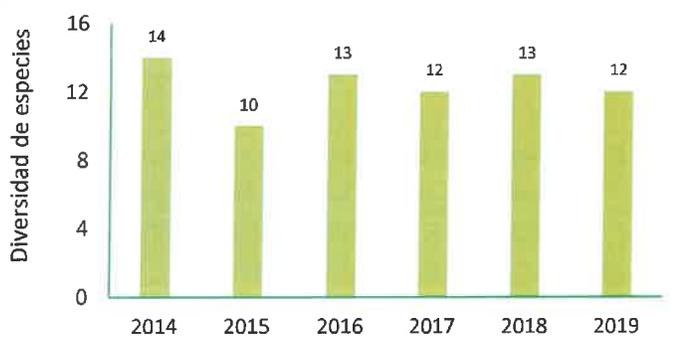


Figura 19. Diversidad de macrófitas estrictamente acuáticas en el lago Atitlán (DICA/AMSCLAE, 2019).

vegetación ribereña, expansión de la frontera agrícola), falta de interés en la conservación y manejo de las zonas litorales del lago, entre otras. Es importante mencionar que los sitios de muestreo y la frecuencia de los muestreos no han sido los mismos desde el 2014, por lo que la variación de la diversidad de plantas acuáticas está influenciada por esto. Sin embargo, es necesario resaltar que en 2014 se registraron 28 especies y únicamente se muestrearon cuatro sitios, mientras que, en 2019, se registraron 22 especies en 10 sitios, por lo que la disminución de la biodiversidad de manera general, es evidente (Anexo 1).

Las condiciones ambientales fueron similares a años anteriores, para el año 2019 la temperatura promedio fue 23 °C, el potencial de hidrógeno promedio fue 8.9, la conductividad promedio fue 463 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los sólidos disueltos totales fueron 224 mg/L, el oxígeno disuelto promedio fue 8.74 mg/L y la saturación de oxígeno promedio fue 123.6 % (Anexo 2).

Conclusiones

- Durante el 2019 se identificaron 22 especies pertenecientes a 16 familias, en comparación a años anteriores hubo una disminución.
- Los sitios con mayor diversidad de vegetación acuática durante el 2019 fueron la Isla de los gatos, el Fondo de la Bahía de Santiago Atitlán y Uxlabil, el Punto ubicado cerca de la desembocadura del río Quiscab fue el menos diverso. Las especies más abundantes y dominantes durante el 2019 fueron *H. verticillata*, *S. californicus* y *C. demersum*, lo que puede estar asociado al nivel de tolerancia que estas especies a condiciones medioambientales, de calidad de agua y a sus estrategias reproductivas.
- La diversidad de especies en la mayoría de los sitios fue oscilante y en algunos casos fue evidente la disminución desde el 2016. La pérdida de especies en el lago Atitlán puede ser el resultado de la perturbación del ecosistema, la oscilación del nivel del lago, la modificación de las orillas, la falta de un manejo integrado de la zona litoral y el crecimiento invasivo de *Hydrilla verticillata*, que desplaza a especies nativas. Los cambios en la diversidad de macrófitas acuáticas pueden tener impactos muy severos en el ecosistema, principalmente en las poblaciones nativas de macrófitas, en las poblaciones de peces, macroinvertebrados acuáticos y en el ensamble de fitoplancton, deteriorando así la calidad de agua del ecosistema.

Recomendaciones

- Continuar con el monitoreo de vegetación acuática en los sitios de muestreo ya establecidos, incrementando la frecuencia de las visitas para evaluar la variación de la composición y abundancia de las comunidades de vegetación acuática, así como el efecto de las fluctuaciones del nivel del agua del lago.
- Desarrollar una estrategia de restauración y protección de la zona litoral del lago Atitlán con especies nativas con actores que se consideren deben estar involucrados. Así mismo, desarrollar un respectivo plan de monitoreo que evalúe el impacto de las acciones a corto y largo plazo.
- Implementar acciones que reduzcan el ingreso de contaminantes al lago Atitlán para reducir el crecimiento excesivo de *Hydrilla verticillata* y el impacto que ocasiona en otras poblaciones.
- Garantizar la conservación y manejo de las zonas litorales del lago para mantener o mejorar el estado actual de la calidad del agua del lago Atitlán.



Referencias bibliográficas

- Barko, JW., Adams, MS., y Clesceri, NL. (1986). *Environmental factors and their consideration in the management of submersed aquatic vegetation: a review*. J. Aquat. Plan Manage. 24: 1- 10.
- Best, EPH. (1981). *A preliminary model for growth of Ceratophyllum demersum L.* Verh. Intari. Berein. Limnol (21): 1484-1491. Stuttgart: Alemania.
- Cirujano, S; Cambra, J. y Gutiérrez, C. (2005). *Protocolo de muestreo y análisis para macrófitos*. Confederación Hidrográfica del Ebro: España.
- García Murillo, P; Fernández Zamudio, R. y Cirujano Bracamonte, S. (2009). *Habitantes del agua macrófitos*. Agencia Andaluza del Agua, Junta de Andalucía: España.
- Giménez, PT. (2009). *Guía visual de campo Macrófitos de la Cuenca del Ebro*. Confederación Hidrográfica del Ebro (Ed.). España.
- Plan Ceibal. (s.f.). *Junco Schoenoplectus californicus* [en línea]. Recuperado 2016, 21 de octubre, de http://contenidos.ceibal.edu.uy/fichas_educativas/_pdf/ciencias-naturales/reino-vegetal/027-junco.pdf
- Posada García, JA. y López Muñoz, MT. (2011). *Plantas acuáticas del altiplano del oriente antioqueño, Colombia*. Universidad Católica de Oriente: Colombia.
- Presidencia de la República. (2012, 12 de abril). Reglamento de la Ley de Creación de la Autoridad para el Manejo Sustentable del lago de Atitlán y su entorno/ Decreto Gubernativo No. 78-2012. *Diario de Centro América*, p. 1-6.
- Thomaz, SM; Esteves, FA; Murphy, KJ; dos Santos, AM; Caliman, A. y Guariento, RD. (2011). *Aquatic macrophytes in the tropics: ecology of populations and communities, impacts of invasions and use by man*. Tropical Biology and conservation management: Vol. IV: Brasil.

Anexo 1 Listado taxonómico de plantas acuáticas en los años 2014-2019 en el lago Atitlán.

Especie	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<i>Alternanthera obovata</i>	x					
<i>Asclepia curasavica</i>	x		x	x		
Asteraceae		x				
<i>Azolla filiculoides*</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Bacopa sp.**</i>	x			x		
<i>Ceratophyllum demersum*</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Chara sp.*</i>	x	x	x		x	x
Chenopodiaceae	x					
Conmelinaceae				x	x	x
<i>Cyperus sp.**</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Eclipta prostrata</i>	x					
<i>Egeria densa*</i>	x		x	x	x	x
<i>Eichhornia crassipes*</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Eleocharis sp.**</i>	x			x		
Fabaceae	x		x	x	x	x
<i>Habenaria repens**</i>	x		x	x	x	x
<i>Hydrilla verticillata*</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Hydrocotyle umbellata**</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Ipomoea sp.</i>			x	x	x	x
<i>Lemna valdiviana*</i>	x		x	x	x	x
<i>Ludwigia octovalvis**</i>	x		x	x	x	
<i>Solanum americanun</i>				x		
<i>Najas sp.*</i>	x					
<i>Phragmites sp.**</i>		x	x	x	x	x
<i>Plantago major</i>				x		
Poaceae	x	x	x	x		x
Polygonaceae	x			x		
<i>Polygonum sp.</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Potamogeton illinoensis*</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Potamogeton pectinatus*</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Schoenoplectus californicus*</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Spirodela polyrhiza*</i>	x		x	x	x	
<i>Typha domingensis*</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Wedelia sp.</i>	x	x	x	x	x	
<i>Wolffia sp.*</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Xanthosoma sp.</i>					x	x

* Especies estrictamente acuáticas

** Especies asociadas a cuerpos de agua

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019

Anexo 2. Cuadro de valores de variables fisicoquímicas en los sitios de muestreo durante el 2019.

Localidad	Temp. (°C)	pH	Cond. (uS/cm)	TDS (mg/L)	OD (mg/L)	Sat. Oxi. (%)
El Relleno	22.85	8.74	452	220	8.75	122.90
Bahía de Santiago Atitlán	23.10	9.00	457	220	10.00	140.85
Pahuacal	23.95	9.11	461	222	9.94	142.60
Tzanhuacal	24.10	9.04	460	220	9.73	140.25
Entrada San Lucas	23.20	8.98	458	221	9.38	132.20
Isla de los Gatos	23.45	8.49	507	246	7.42	105.75
Quiscab	23.00	8.87	464	226	7.27	101.95
San Antonio	23.90	8.90	463	224	8.26	118.35
Uxlabil	22.30	9.17	448	217	9.72	134.70
San Pablo	23.00	8.84	463	226	6.89	96.60

Temperatura (Temp.), Conductividad (Cond.), Sólidos disueltos totales (TDS), Oxígeno disuelto (OD), Saturación de oxígeno (Sat. Oxi.). (Fuente: DICA/AMSCALE, 2019)

MSc. Onella Xicay Franco
Subdirectora Técnica
AMSCLAE



MSc. Elsa María de Fátima Reyes Miralles
Jefe del Depto. de Investigación y
Calidad Ambiental
-AMSCLAE



INFORME “MONITOREO DE SALUBRIDAD DEL LAGO ATITLÁN PARA USO RECREACIONAL, 2019”

Responsables: MSc. Elsa María Reyes, Jefe de Investigación y Calidad Ambiental.

INTRODUCCIÓN

Desde 2012, el Departamento de Investigación y Calidad Ambiental -DICA- de la AMSCLAE, ha monitoreado la calidad microbiológica del agua del lago Atitlán para uso recreativo. Se han seleccionado playas frecuentadas por bañistas alrededor del lago. Para llevarlo a cabo dicho monitoreo, se ha establecido un protocolo de monitoreo con criterios de evaluación de calidad de aguas recreativas propuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (OMS, 2000), y los *Métodos estandarizados para el análisis de agua y aguas residuales* (APHA/AWWA/WPCF, 1989), puesto a que en Guatemala sigue sin existir legislación en el tema.

Los programas para el monitoreo de sitios recreativos son planificados e implementados para identificar, caracterizar y minimizar el riesgo a la salud humana asociado al uso de aguas recreativas. La existencia de microorganismos patógenos en el agua se encuentra entre los riesgos adversos más importantes resultantes de la actividad recreativa, pudiendo ser encontrados en los cuerpos de agua provenientes de distintas fuentes: aguas residuales y pluviales, agricultura, crianza de animales y vida silvestre residente, o resultantes del impacto de los usuarios sobre el agua. Estos organismos pueden producir enfermedades gastrointestinales, infecciones respiratorias agudas, de la piel, ojos, oídos y garganta (OMS, 2000).

En los últimos cuatro años, este monitoreo ha evidenciado que las playas evaluadas son afectadas por contaminación puntual o difusa, tanto por acción antropogénica (*e.g.* aguas residuales), y también por factores ambientales (*e.g.*, aguas pluviales con alta carga de patógenos). En todas las playas evaluadas en el 2019 se encontraron altas densidades bacterianas de coliformes totales y *Escherichia coli* (*E.coli*), que las clasifican como inadecuadas para su uso recreativos según la OMS (OMS, 2000).

I. OBJETIVOS

- Determinar la calidad del agua de las playas mayormente frecuentadas en el lago Atitlán para uso recreativo.
- Realizar una vigilancia de la calidad microbiológica del agua de las playas utilizadas con fines recreativos alrededor del lago, mediante la planificación y ejecución de un programa estandarizado de monitoreo.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El monitoreo de aguas recreativas incluye nueve sitios de muestreo en playas y dos puntos en las desembocaduras de los ríos San Francisco y Quiscab, todos ubicados en las orillas del lago Atitlán (Cuadro 1, Fig. 1, Anexo 2). Durante 2019 se logró muestrear dos veces las playas públicas ubicadas a la orilla del lago Atitlán, un muestreo se realizó durante la temporada seca (marzo) y el segundo en la temporada lluviosa (septiembre). Adicionalmente, las playas de Panajachel se muestrearon en seis ocasiones, antes y después de semana santa y una vez durante las fiestas patrias (después del 15 de septiembre). En años anteriores se ha observado que, durante las fiestas patrias, la afluencia de turistas extranjeros y nacionales incrementa, y esto tiene un impacto en la calidad del agua del lago por el incremento de aguas residuales.

Cuadro 1. Sitios de muestreo, monitoreo salubridad de lago de Atitlán para uso recreacional. (Fuente: DICA-AMSCLAE/2018).

Municipio	Punto	Coordenadas (GTM)		Profundidad de muestreo (m)
		X	Y	
Panajachel	Playa Jucanyá	429506	1629219	0.1
Panajachel	Playa Peña de Oro	430138	1629184	0.1
Panajachel	Playa Pública	428815	1629795	0.1
San Marcos La Laguna	Playa Cerro Tzankujil	418063	1627877	0.1
San Pablo La Laguna	Playa Las Cristalinas	415609	1626609	0.1
San Pedro La Laguna	Playa Dorada	419858	1622818	0.1
San Lucas Tolimán	Playa Pública	430860	1618833	0.1
San Antonio Palopó	Playa Pública	433437	1624572	0.1
Santa Catarina Palopó	Termales	431203	1627968	0.1

(Fuente: DICA-AMSCLAE, 2019)

En años anteriores, se aplicaba el criterio de la OMS (2000), que determinaba que en aguas de uso recreativo se deben recolectar muestras donde la profundidad llegue a la altura aproximada del pecho de un adulto estando de pie (1 m) y en profundidades someras para evaluar la calidad de los puntos donde los niños pequeños tienen contacto con el agua (0.1 m). En Los últimos años, los resultados obtenidos con este monitoreo demostraron que no existe diferencia significativa en la calidad del agua entre ambas profundidades (DICA-AMSCLAE, 2015 y 2016), por lo que durante 2019 el muestreo se realizó solamente a 0.1 m de profundidad.

Todas las muestras fueron recolectadas en frascos estériles de 250 ml y transportadas en cadena de frío a 10°C aproximadamente. Las muestras fueron procesadas dentro de las primeras seis horas luego de su recolección. Se utilizó la técnica de filtración por membrana, empleando el sistema Petrifilm™ como medio para el aislamiento e identificación de coliformes totales y *E. coli*, las cuales son bacterias indicadoras de contaminación fecal.

Para establecer la comparabilidad de las concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal en diferentes regiones, es esencial el establecimiento del indicador que será analizado (coliformes totales o *E. coli*) (OMS, 2000). En este informe, así como en los anteriores, se analizan los resultados obtenidos para *E. coli*, debido a que estos microorganismos son más específicos que los coliformes totales para establecer la ocurrencia de contaminación fecal reciente, debido a su incapacidad de reproducirse y sobrevivir en ambientes naturales.

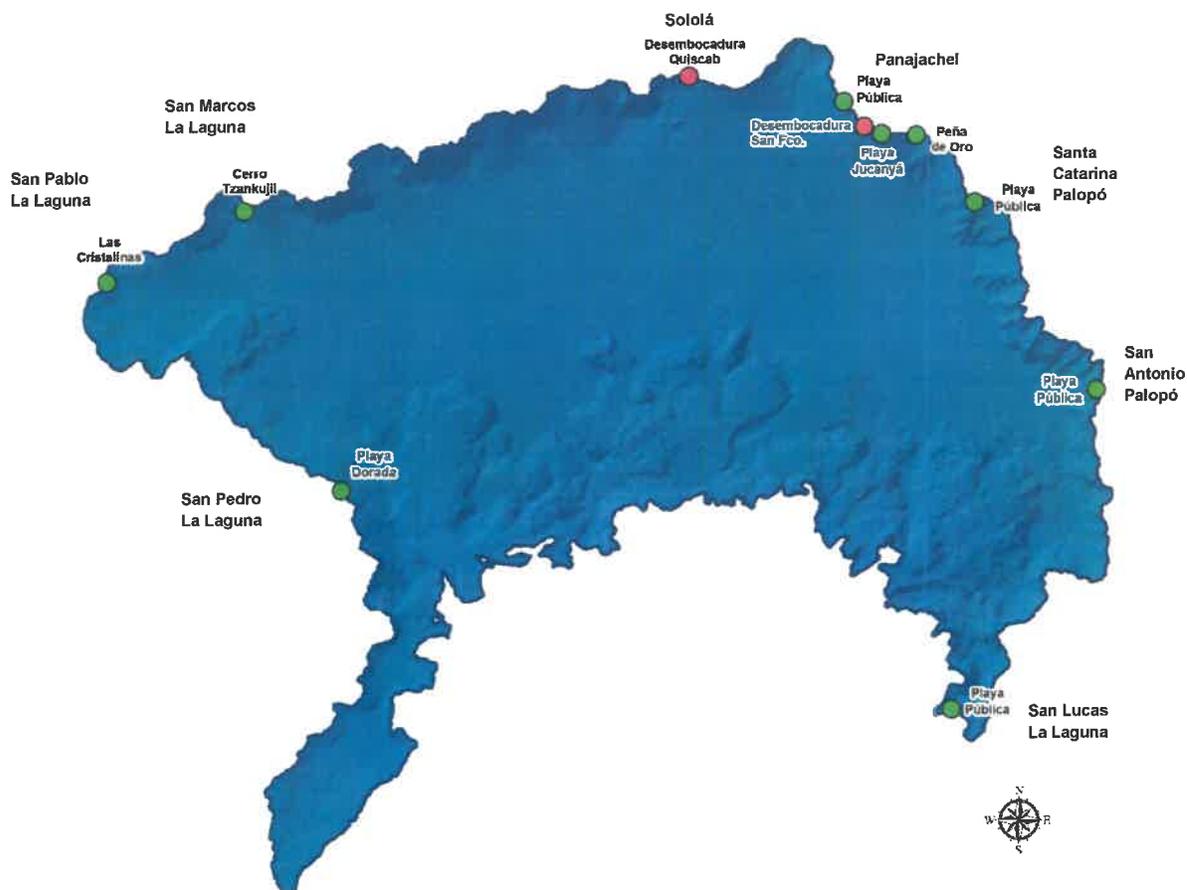
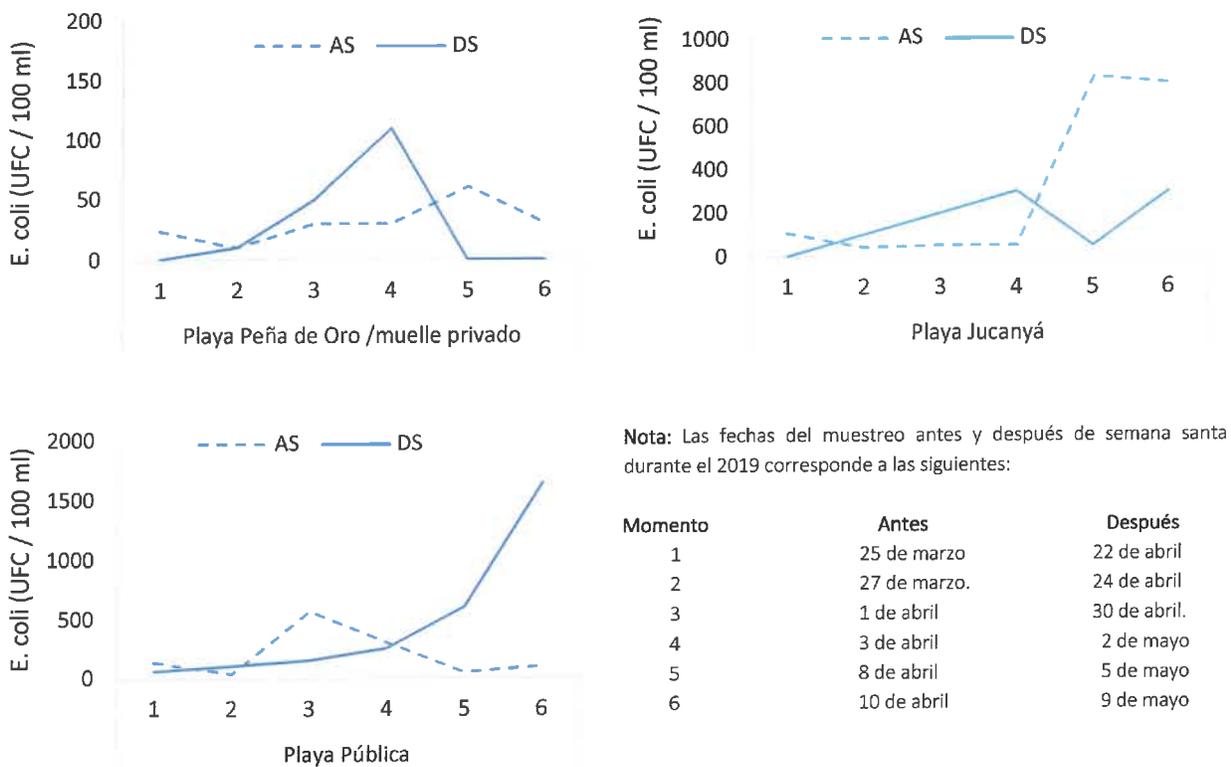


Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios muestreados durante el 2018. Playas públicas (verde), desembocaduras ríos (rosado)
(Fuente: DICA-AMSCLAE, 2018)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general todas las playas alrededor del lago Atitlán presentan valores considerables de coliformes totales y *E. coli*. Durante el 2019, los recuentos de *E. coli* durante la Semana Santa (antes y después) se consideran altos (Fig. 2) y esto puede estar asociado a la cercanía que tienen las playas de Panajachel a la desembocadura de río San Francisco, el cual tiene una alta carga de contaminación por aguas residuales. Todas las playas de Panajachel tuvieron un incremento de los conteos de *E. coli* y coliformes totales después de semana santa y durante las fiestas patrias (Fig. 2 y 3), esto puede estar asociado al impacto que tiene el incremento de visitantes al municipio durante esas fechas, y por ende el aumento de la generación de aguas residuales.



Nota: Las fechas del muestreo antes y después de semana santa durante el 2019 corresponde a las siguientes:

Momento	Antes	Después
1	25 de marzo	22 de abril
2	27 de marzo.	24 de abril
3	1 de abril	30 de abril.
4	3 de abril	2 de mayo
5	8 de abril	5 de mayo
6	10 de abril	9 de mayo

Figura 2. Resultados de análisis de microbiología (*E. coli*) en las principales playas de Panajachel antes y después de semana santa durante el 2019 (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019)

En Panajachel, los recuentos de *E. coli* y coliformes totales en las playas de Jucanyá y la playa pública fueron bastante altos en comparación a la playa de Peña de Oro (Fig. 3 y 4). La cercanía a la desembocadura del río San Francisco y la mayor afluencia de visitantes, puede afectar y comprometer la calidad del agua para uso recreacional de las playas de Panajachel. Esto también se puede observar al comparar los datos de Panajachel con los otros municipios, donde los recuentos no sobrepasan los 500 o 700 coliformes totales (Fig. 2 – 7) y 200 *E. coli* (Anexo 1), esto evidencia el impacto que tienen los ríos San Francisco y Quiscab en la calidad de agua microbiológica en el lago Atitlán y en potencial riesgo que puede representar a las comunidades que usan el agua del lago para uso recreacional o para consumo humano.

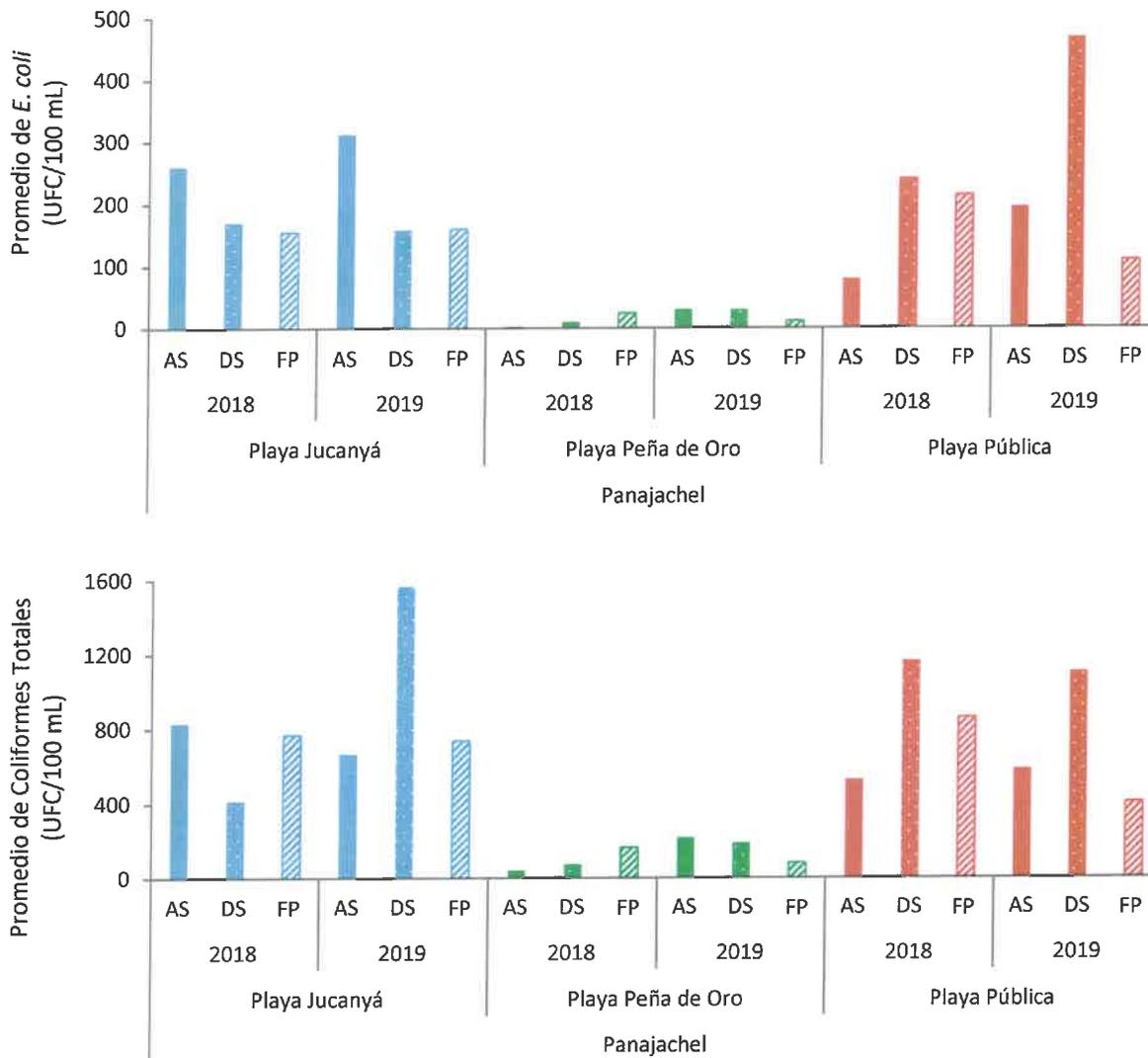


Figura 3. Variación espacial y temporal de *E. coli* y coliformes totales en las principales playas de Panajachel. Antes de Semana Santa (AS), después de Semana Santa (DS) y durante las fiestas patrias (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019).

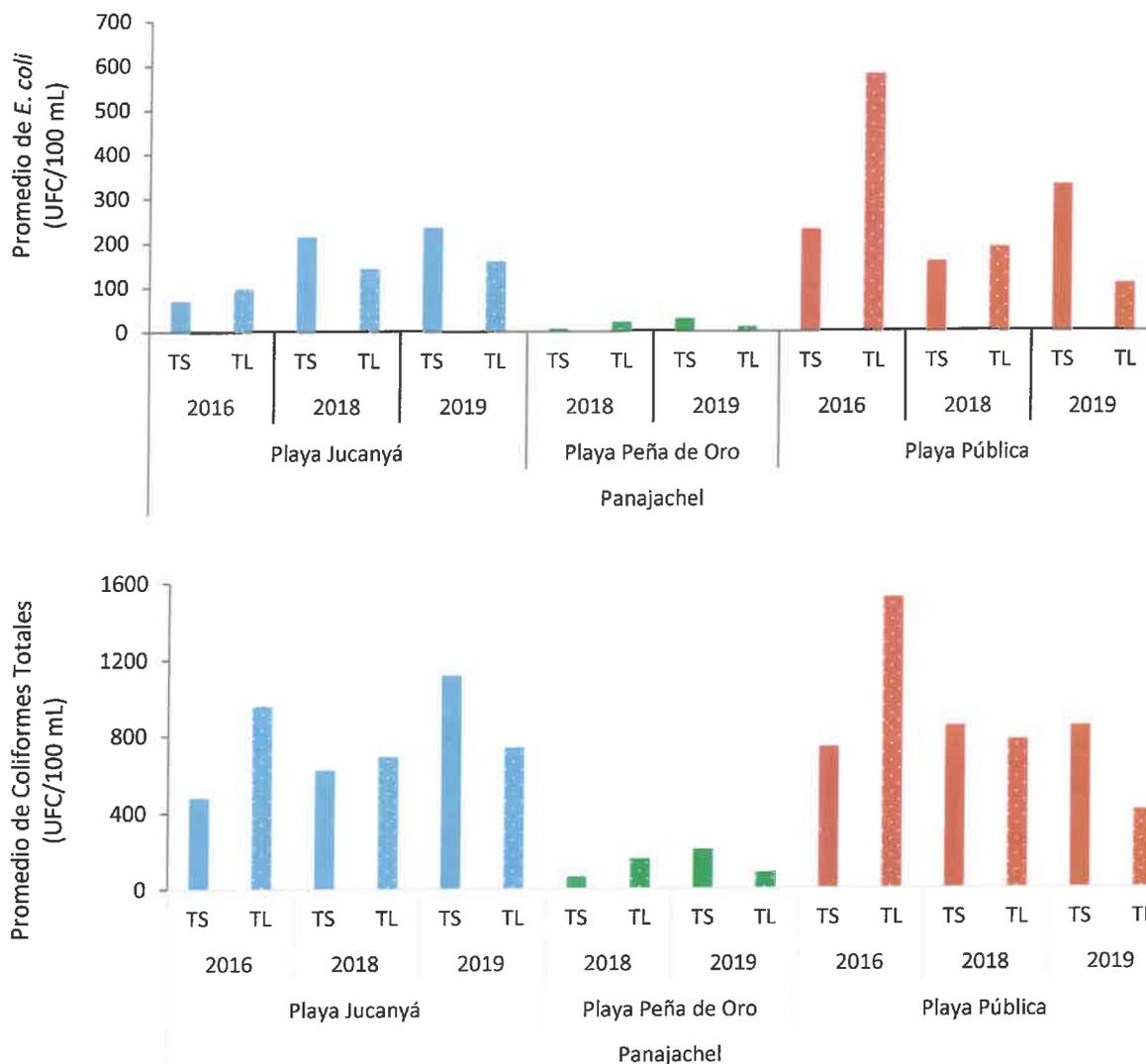


Figura 4. Variación espacial y temporal de *E. coli* y coliformes totales en las principales playas de Panajachel. Temporada seca (TS) y temporada lluviosa (TL) (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019).

Los recuentos de coliformes totales y *E. coli* en San Antonio Palopó y Santa Catarina Palopó fueron altos (Fig. 5), sobre todo en el 2019. En San Antonio Palopó durante el 2016 y 2019 los recuentos en la temporada seca fueron bastante altos, pues el número de colonias fueron muy numerosas para contar (MNPC). Santa Catarina Palopó presentó valores más altos durante el 2018, no obstante, en todos los años los valores fueron significativos. La presencia de coliformes y *E. coli* en ambos sitios (Fig. 5 y Anexo 1) puede estar asociado a descargas de aguas residuales sin tratamiento. A pesar que Santa Catarina Palopó tiene planta de tratamiento, la cobertura no es suficiente para reducir el impacto de las aguas residuales en las áreas para uso recreacional.

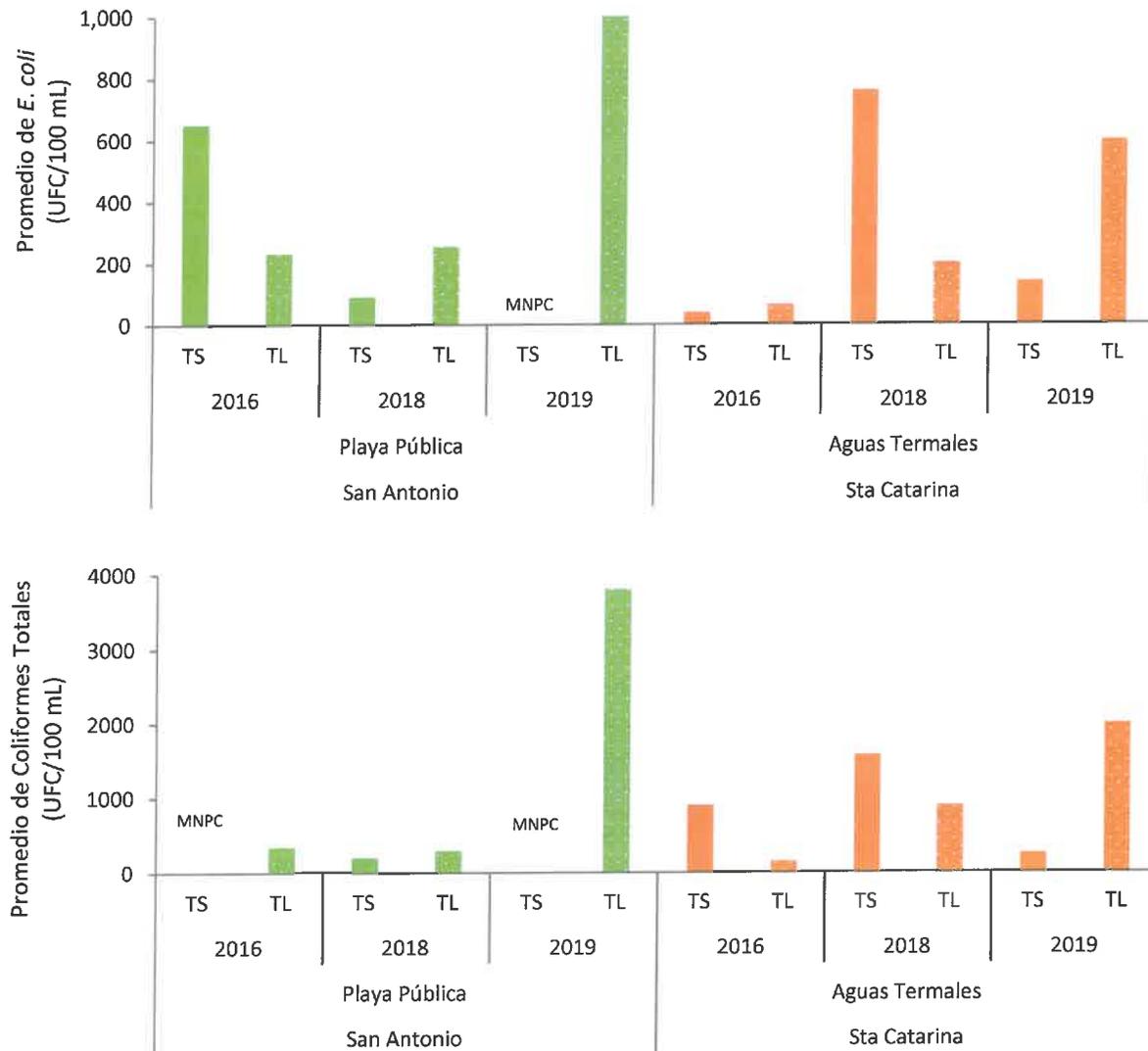


Figura 5. Variación temporal de *E. coli* y coliformes totales en San Antonio Palopó (verde) y Santa Catarina Palopó (anaranjado). Temporada seca (TS), Temporada lluviosa (TL) (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019). Muy numerosas para contar (MNP)

En San Lucas Tolimán los recuentos de *E. coli* y coliformes totales fueron mayores a 100 colonias, y en general, más altos en la temporada seca. En San Pedro La Laguna los valores de coliformes estuvieron por debajo de 100 colonias, excepto en la temporada lluviosa del 2019. Estas variaciones de coliformes totales en ambos sitios (Fig. 6), puede estar asociada a las condiciones ambientales, en la temporada lluviosa la escorrentía puede arrastrar mayor cantidad de aguas con alta carga de heces fecales, incrementando así la carga microbiológica en el lago Atitlán. No obstante, puede darse también un factor de dilución durante la temporada lluviosa, por lo que en la temporada seca los valores sean más altos, debido a que no hay una dilución de las aguas con alta carga microbiológica. Esto puede observarse con los datos de *E. coli*, para ambos sitios los valores son más bajos en la temporada lluviosa (Anexo1). Para establecer el efecto que tiene la estacionalidad en estas localidades es necesario incrementar el número de muestreos.

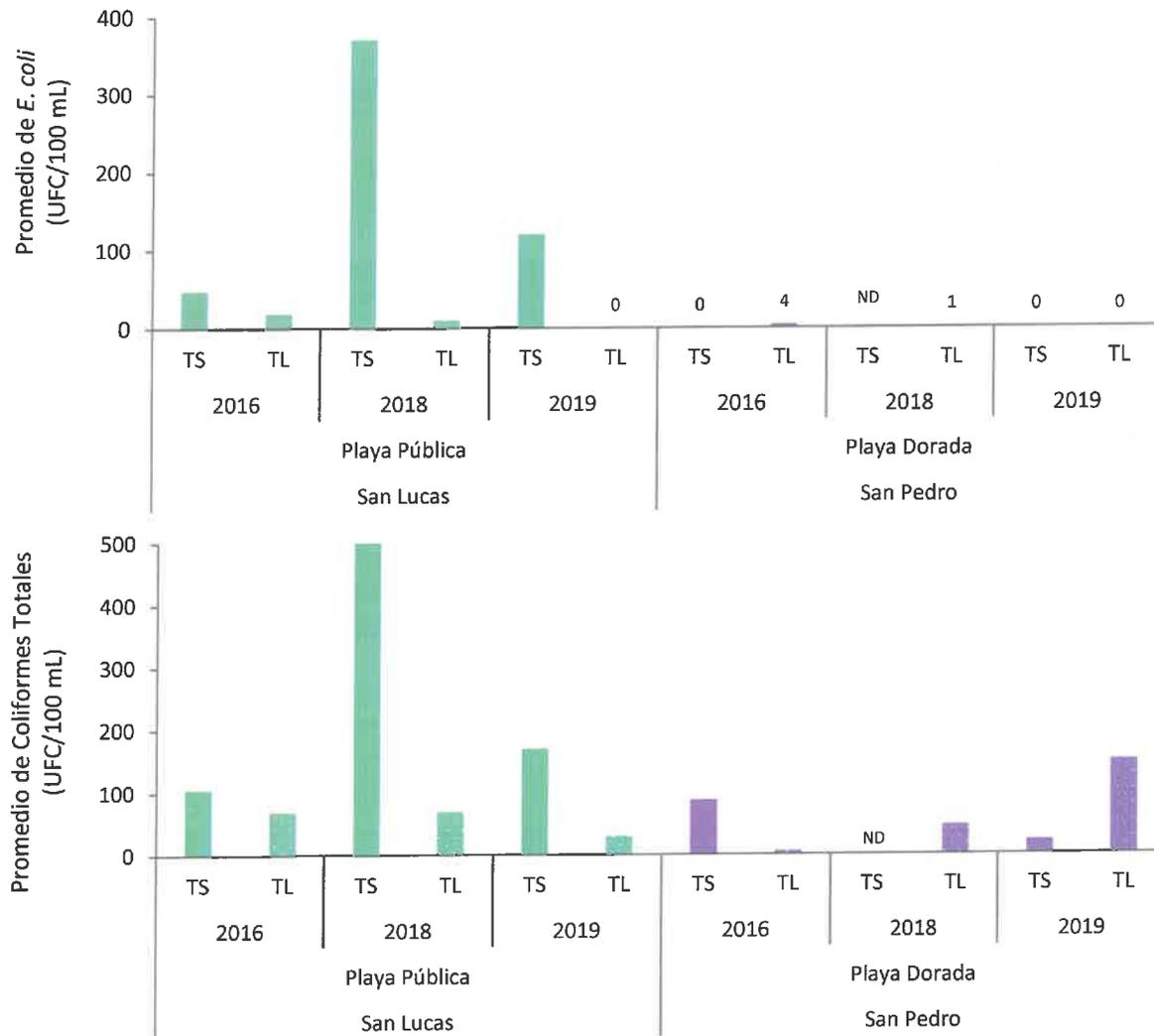


Figura 6. Variación temporal de *E. coli* y coliformes totales en San Lucas Tolimán (verde) y San Pedro La Laguna (morado). Temporada seca (TS), Temporada lluviosa (TL) (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019). No Data (ND)

En San Marcos La Laguna y San Pablo La Laguna los recuentos de *E. coli* y coliformes totales estuvieron por debajo de las 100 colonias, excepto en San Pablo La Laguna en el 2016, en donde los valores de coliformes totales sobrepasaron las 500 colonias (Fig.7). En ambos sitios los recuentos de *E. coli* tuvieron un similar comportamiento a coliformes totales (Anexo 1). La baja carga microbiológica en estos dos sitios puede estar asociada a que ambos sitios se encuentran alejados de las zonas urbanas por lo que el impacto por aguas residuales es mínimo. No obstante, no están exentos al impacto de la temporada lluviosa y el arrastre de aguas con altas carga de heces fecales, pues en ambos sitios se observa un incremento en la temporada lluviosa. Se desconoce que pudo causar el aumento de coliformes en Las Cristalinas durante el 2016, ya que no se tiene registro de algún evento que haya ocasionado que los recuentos fueran altos, no obstante, si se considera que hubo algo que impactara la calidad de agua en ese sitio ya que los valores fueron mayores a 500 colonias, y en los otros años fueron bajos.

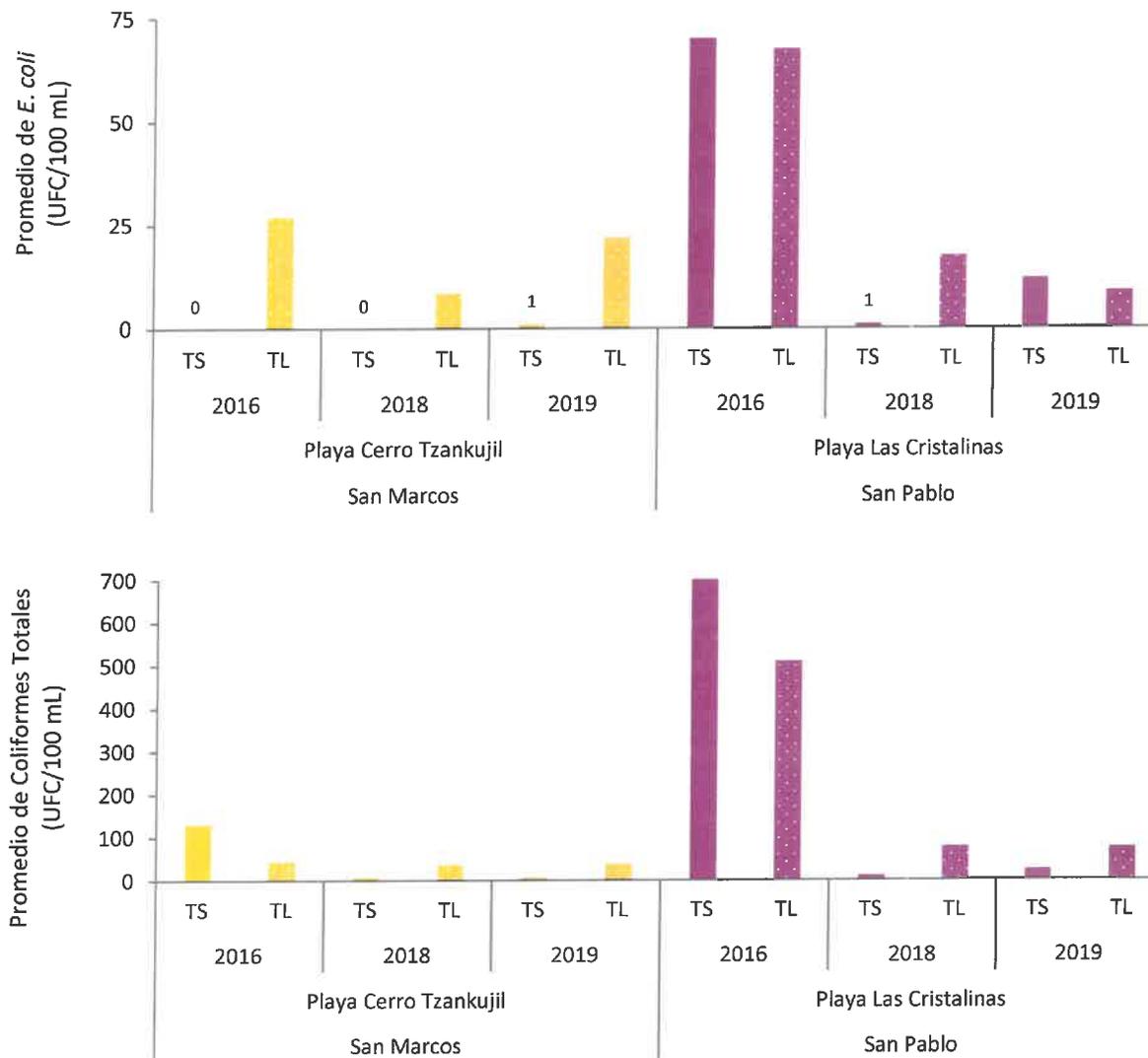


Figura 7. Variación temporal de *e. coli* y coliformes totales en San Marcos La Laguna (amarillo) y San Pablo La Laguna (morado). Temporada seca (TS), Temporada lluviosa (TL) (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019).

Los resultados de las desembocaduras del río San Francisco y Quiscab fueron mucho más altos (> 10,000) que el resto de los sitios de muestreo y el río San Francisco presentó valores mayores al río Quiscab (Fig.8, Anexo 1). Los resultados de la desembocadura del río Quiscab durante el 2019 no fueron posible obtener porque las muestras no se diluyeron lo suficiente, pues el número de colonias eran muy numerosas para poder contar (Fig. 9). La ausencia de datos no se puede considerar como bajos valores, sino que al contrario la carga microbiana en el río Quiscab es bastante alto, aunque no tanto como el río San Francisco. A pesar que el río Quiscab tiene un mayor caudal, el río San Francisco tiene una mayor carga microbiana, y se debe a que la planta de tratamiento de Panajachel descarga directamente al río y a que no está cumpliendo con el reglamento 12-2011.

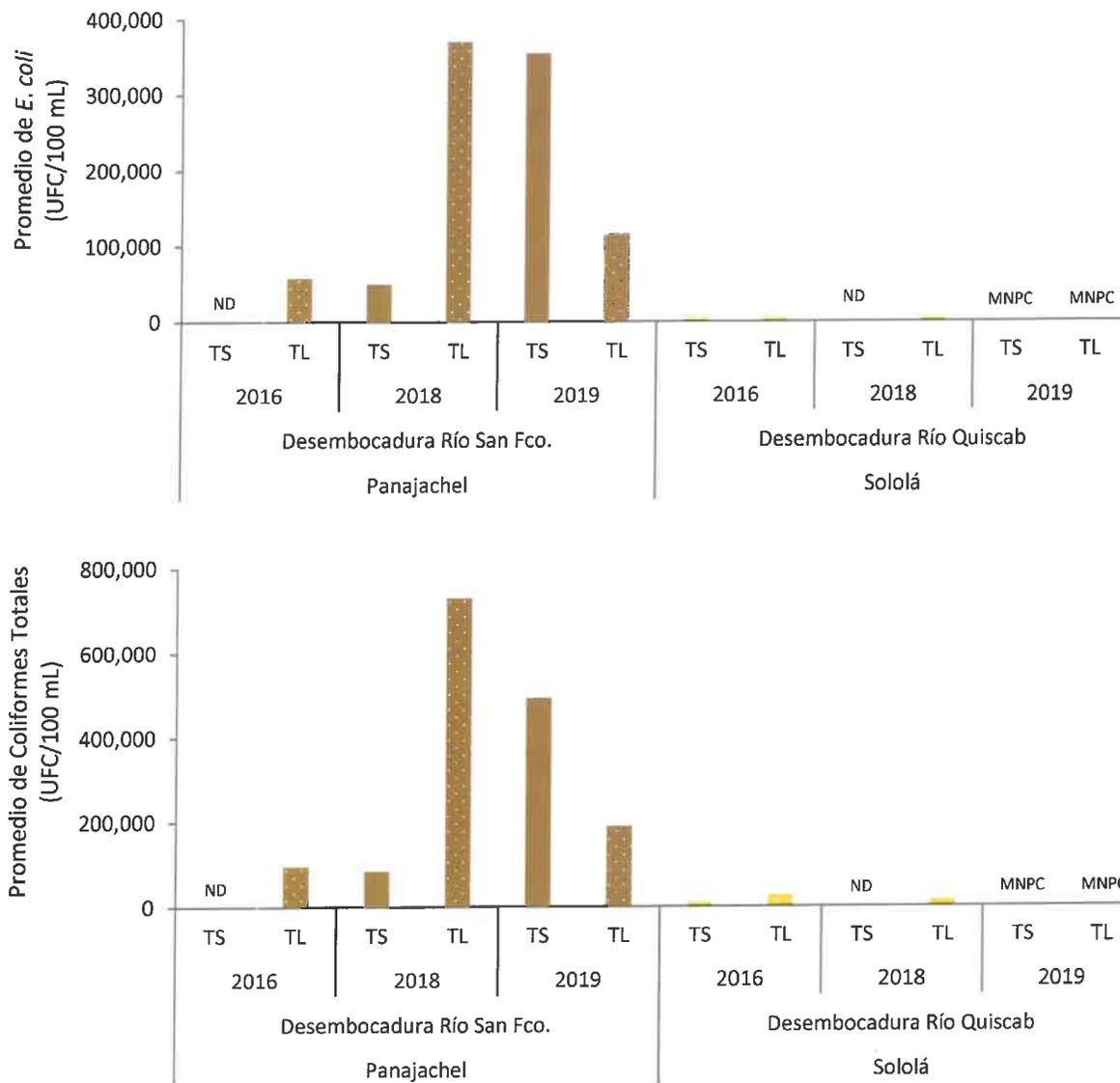


Figura 8. Variación temporal de *E. coli* y coliformes totales en la desembocadura del río San Francisco (café) y Quiscab (amarillo). Temporada seca (TS), Temporada lluviosa (TL) (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019). No Data (ND). Muy numerosas para contar (MNPC).



Figura 9. Registro fotográfico de las placas de recuento de coliformes totales (puntos rosados) y *E. coli* (puntos morados) durante el 2019. (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019)

Con los resultados obtenidos de los muestreos realizados en las playas públicas ubicadas a la orilla del lago Atitlán, se realizó un análisis de percentiles por temporada. En el cuadro 3 se puede observar que durante la temporada seca y lluviosa todas las playas cumplieron con ambos criterios de la OMS. El criterio OMS define 100 y 1000 colonias de *E. coli*, y los valores de los percentiles 50 y 90 de los resultados del 2019 fueron 30 y 332 para la temporada seca, respectivamente, y 12 y 600 para la temporada lluviosa, respectivamente. Sin embargo, se considera que en algunas playas públicas los recuentos de *E. coli* fueron bastante elevados tales como Santa Catarina Palopó y San Antonio Palopó (Anexo 1), por lo que se deben tomar medidas de saneamiento para evitar problemas de salud, principalmente en niños menores de 5 años y adultos mayores.

Cuadro 3. Percentiles 50 y 90 obtenidos para *E. coli* (UFC/100 ml), análisis de agua en playas públicas ubicadas a la orilla del lago Atitlán, 2019.

Temporada	Percentil	Período 2019	Criterio OMS* (UFC/100 ml)
Seca	50	30	100
	90	332	1000
Lluviosa	50	12	100
	90	600	1000

*OMS, 2000.

Fuente: DICA – AMSCLAE, 2019

La figura 10 se resume la calidad del agua de las playas públicas ubicadas en las orillas del lago Atitlán en los municipios de San Antonio Palopó, San Lucas Tolimán, San Marcos La Laguna, San Pablo La Laguna, San Pedro La Laguna, Santa Catarina Palopó y Panajachel. El Cuadro 4 esquematiza el criterio utilizado para categorizar las playas según la calidad de sus aguas.

Cuadro 4. Criterio utilizado para categorizar las playas según la calidad del agua.

Clave	Criterio
	El 90% de las muestras tuvo una concentración mayor a 1000 UFC y el 50% mayor a 100 UFC.
	El 90% de las muestras tuvo una concentración menor a 1000 UFC y el 50% mayor a 100 UFC.
	El 90% de las muestras tuvo una concentración menor a 1000 UFC y el 50% menor a 100 UFC.

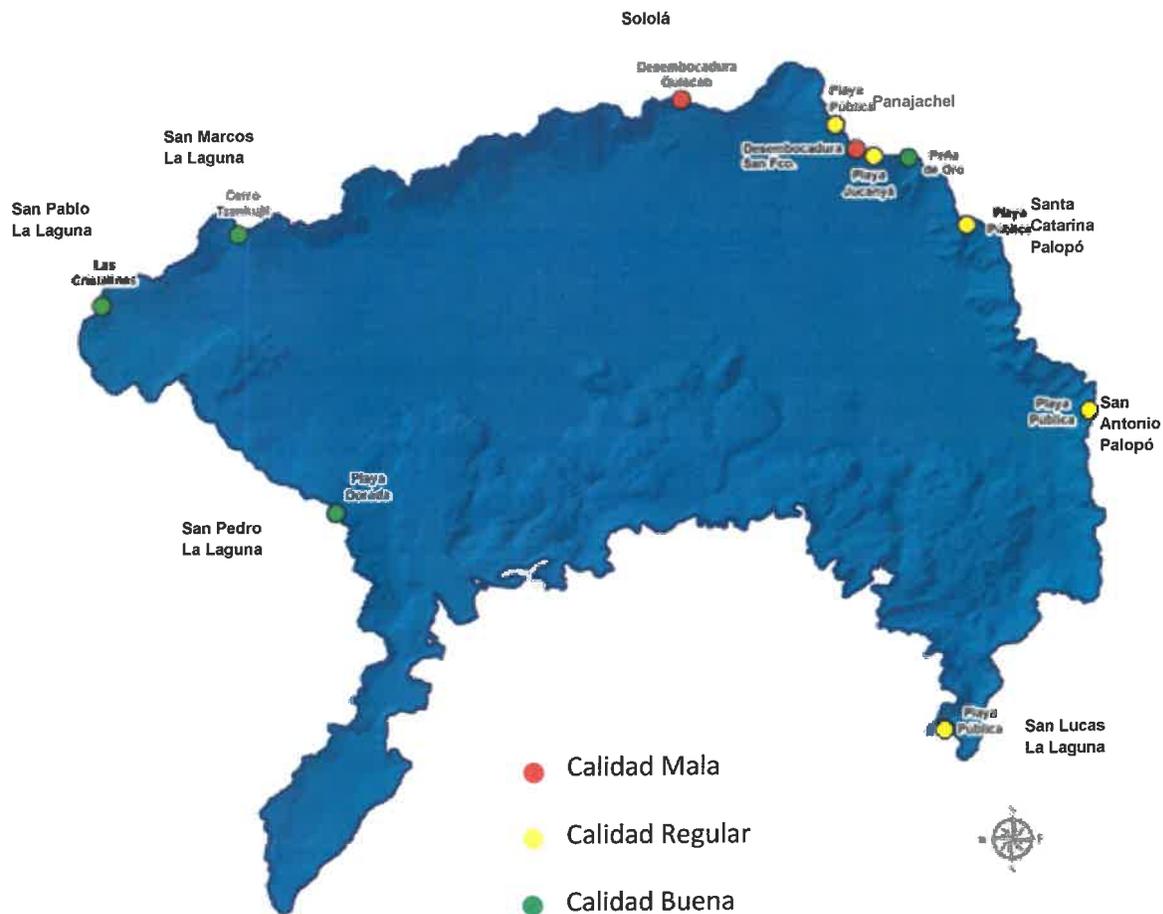


Figura 10. Calidad del agua de las playas públicas del lago Atitlán, 2019. Fuente: DICA-AMSCLAE, 2019.

IV. CONCLUSIONES

- Los resultados de este estudio indican que la calidad del agua de las playas de Panajachel tiene valores altos de coliformes y *E. coli*. Durante 2019, Jucanyá y la playa pública de Panajachel no cumplieron con el criterio establecido para aguas recreativas de la OMS.
- Las temporadas altas de turismo, así como, la temporada lluviosa disminuyen la calidad del agua del lago Atitlán, incrementando el riesgo a la salud humana de los visitantes, debido a los altos recuentos de coliformes totales y *E. coli*, principalmente en niños menores de 5 años y adultos mayores.
- La cercanía de la playa de Jucanyá, playa pública de Panajachel, San Antonio Palopó, San Lucas Tolimán y Santa Catarina Palopó (Las termales) a desembocaduras de ríos o descargas de aguas residuales comprometen la calidad del agua para uso recreacional.
- Las playas públicas ubicadas en las orillas del lago Atitlán en los municipios de San Marcos La Laguna, San Pablo La Laguna y San Pedro La Laguna se consideran aptas para uso recreacional. No obstante, hay que tomar ciertas medidas de saneamiento en los lugares aledaños, pues durante la temporada lluviosa incrementa la carga microbiana en las playas antes mencionadas.
- La disminución de la contaminación del agua del lago depende en gran medida de las gestiones encaminadas a la disminución de las fuentes de contaminación puntuales y difusas. Entre las fuentes más significativas se encuentran: el ingreso de aguas residuales sin tratamiento, la escorrentía que arrastra sedimentos ricos en contaminantes al lago y el ingreso de desechos sólidos.

V. RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES

Incrementar el número de muestreos dentro del programa de monitoreo de salubridad (aguas para uso recreacional) y personal técnico. Al ampliar la información de una forma sistemática, se puede concluir que efectos tienen las distintas actividades dentro de la cuenca de Atitlán en las áreas de servidumbre y proponer acciones que reduzcan el impacto en la calidad del agua del lago. Así mismo, se podría determinar el efecto que tienen las lluvias en la calidad de agua de las áreas de recreación, no solo de las muestreados hasta la fecha, sino que también en otras áreas que son visitadas frecuentemente por los locales.

Ampliar las áreas de tuf dentro de la zona litoral del lago Atitlán para mitigar el impacto que las actividades humanas puedan tener en la calidad del agua en las zonas de recreación.

Es importante la extensión de estos resultados a las autoridades municipales competentes, Ministerio de Salud y Gobernación Departamental, para informar sobre los riesgos a los cuales están expuestos los visitantes en las playas con contaminación fecal, y la importancia del manejo adecuado de las aguas residuales.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA/AWWA/WPCF (1989). *Métodos estándar para el análisis de agua y aguas residuales*. 17ª Edición. American Public Health Association: US.

OMS, Organización Mundial de la Salud (2003). *Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1: Coastal and fresh waters*.

ANEXOS

Anexo 1. Valores promedio de *E. coli* (UFC/100 ml) en playas públicas a la orilla del lago Atitlán. Temporada Seca (TS) y Temporada Lluviosa (TL) (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019)

SITIO DE MUESTREO	2016		2017		2018		2019	
	TS	TL	TS*	TL	TS	TL	TS	TL
Sololá								
Desembocadura Río Quiscab	5,600	6,700	ND	ND	ND	6,500	MNPC	MNPC
Panajachel								
Desembocadura Río San Fco.	ND	58,000	ND	ND	50,000	370,000	355,000	115,000
Playa Jucanyá	70	99	ND	505	215	144	235	160
Playa Peña de Oro**	ND	ND	ND	208	7	23	30	12
Playa Pública	232	583	ND	468	160	192	332	110
Santa Catarina Palopó								
Aguas Termales	40	65	ND	ND	760	200	140	600
San Antonio Palopó								
Playa Pública	650	233	ND	ND	90	255	MNPC	1,000
San Lucas Tolimán								
Playa Pública	48	19	ND	ND	370	10	120	0
San Pedro La Laguna								
Playa Dorada	0	4	ND	ND	ND	1	0	0
San Pablo La Laguna								
Playa Las Cristalinas	70	68	ND	ND	1	18	12	9
San Marcos La Laguna								
Playa Cerro Tzankujil	0	27	ND	ND	0	9	1	22

* No hay datos debido a que el laboratorio de calidad de aguas de la AMSCLAE estaba cerrado por traslado de instalaciones y por falta de vehículos.

** Peña de Oro se inició a muestrear en el 2017.

No data (ND)

Colonias muy numerosas para contar (MNPC)

Anexo 2. Registro fotográfico de los sitios de muestreo durante el 2019. (Fuente: DICA/AMSCLAE, 2019)



Playa Publica, Panajachel



Playa Jucanyá, Panajachel



Playa Peña de Oro, Panajachel



Las Termales, Santa Catarina Palopó



Playa Pública, San Antonio Palopó



Playa Pública, San Lucas Tolimán



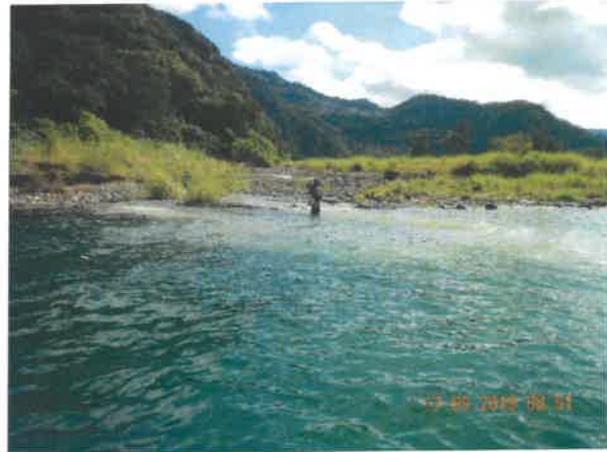
Playa Dorada, San Pedro La Laguna



Las Cristalinas, San Pablo La Laguna



Cerro Tzankujil, San Marcos La Laguna



Desembocadura del río Quiscab



Desembocadura del río San Francisco

MSc. Elsa María de Rátima Reyes Morales
Jefe del Depto. de Investigación y
Calidad Ambiental
-AMSCLAE-



SUBDIRECCIÓN TÉCNICA




MSc. Onelia Xicay Franco
Subdirectora Técnica
AMSCLAE