

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL-DICA-

INFORME DE CALIDAD DE AGUA DE RÍOS DE LA CUENCA DEL LAGO DE ATITLÁN 2018

Responsable: Licda. Ana Isabel Arriola de León Régil (*Técnico en Manejo del Tul- Unidad de Calidad Ambiental*) y 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 Sitio Panimajuyú, Santa Antonio Palopó (DICA, 2018).

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.

Objetivos

- Evaluar la calidad de agua de las microcuencas que conforman la cuenca del lago Atitlán mediante el Índice de Calidad de Agua -ICA-, el Índice de Calidad del Hábitat -RBP- y el Índice Biótico BMWP/Atitlán.
- Incrementar el listado taxonómico de macroinvertebrados acuáticos presentes en la cuenca del lago Atitlán.

Materiales y métodos

Área de estudio

Durante el 2018, se inició el monitoreo de la calidad de agua de las microcuencas que conforman la cuenca del lago Atitlán, por lo que se ubicaron sitios de muestreo en la parte alta y baja de cada microcuenca. Se evaluaron ocho microcuencas (Cuadro 1) (Fig.2), siendo estas Barreneché-María Tecún, Tzununá, San Pablo La Laguna, San Buenaventura, La Catarata, San Antonio Palopó, Chaquijyá y Santa Catarina Palopó.



Figura 2 Ubicación de los sitios de muestreo en la cuenca del Lago de Atitlán (DICA, 2018).

Cuadro 1. Sitios de muestreo las microcuencas que conforman la cuenca del lago de Atitlán.

Microcuenca	Sitio	Ubicación	Coordenadas		Jurisdicción	Altitud (msnm)
			X	Y		
Barreneché- María Tecún	Barreneché	Cuenca alta	424425	1641043	Barreneché, Totonicapán	2551
	María Tecún	Cuenca baja	423495	1637751	Colonia María Tecún, Sololá	2296
Tzununá	Tzununá 1	Cuenca alta	419259	1630067	Santa Cruz La Laguna, Sololá	1746
	Tzununá 2	Cuenca baja	420043	1629005		1567
San Pablo La Laguna	Panimayujú	Cuenca alta	415563	1629574	San Pablo La Laguna, Sololá	1874
San Buenaventura	San Buenaventura 1	Cuenca alta	427971	1634601	Sololá, Sololá	2118
	San Buenaventura 2	Cuenca baja	428432	1631151	Panajachel, Sololá	1589
La Catarata	La Catarata 1	Cuenca alta	426794	1634673	Sololá, Sololá	2250
	La Catarata 2	Cuenca baja	428281	1631207	Panajachel, Sololá	1572
San Antonio Palopó	Chirij Aj 1	Cuenca alta	434451	1624607	San Antonio Palopó, Sololá	1909
	Chirij Aj 2	Cuenca baja	433503	1624419		1564
Santa Catarina Palopó	Santa Catarina 1	Cuenca alta	433369	1627746	Santa Catarina Palopó	2079
	Santa Catarina 2	Cuenca baja	431650	1627845		1545

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2018.

Frecuencia de muestreo

Durante el 2018 se realizó un único muestreo por microcuenca durante los meses de abril, junio, julio y septiembre.

Sitios de Muestreo

Barreneché El ancho del río fue de 0.7 m. El cauce presentó un caudal de 0.002 m³/s. El sustrato estaba compuesto por piedras, arena gruesa (grava), arcilla y lodo. La superficie de algunas rocas estaba cubierta por musgo y en el sitio había troncos, ramas y hojarasca sumergida. El agua era clara e inodora, aunque se pudo visualizar presencia de desechos sólidos. Entre la vegetación ribereña se identificaron pino, ciprés, ilamo, helechos, geranios, asteráceas, malváceas, plantagináceas, mirtáceas, melastomatáceas, urticáceas y poaceas. El sitio presentó 100% sombra de exposición al sol (Fig.3).



Figura 3 Sitio “Barreneché”
(DICA/AMSCLAE, 2018).

María Tecún El sitio presentó un ancho de 1.3 m y una profundidad 0.05 m. El caudal registrado en el sitio fue de 0.027 m³/s. El sustrato estaba compuesto por piedras, arena gruesa, arena, arcilla y lodo. Se encontraron rocas medianas y pequeñas, con crecimiento en la superficie de perifiton. En el sitio había hojarasca, troncos y ramas sumergidas. El agua era turbia con olor a agua residual, debido principalmente a que el efluente de la PTAR de la colonia María Tecún, descarga en este río. Se encontraron desechos sólidos. Entre la vegetación ribereña se identificaron cartucho, banano, pino, aguacate, ilamo, ciprés, sauce, poaceas, plantagináceas, commelináceas y asteráceas. El sitio presentó grandes claros de exposición al sol (Fig.4).



Figura 4 Sitio “María Tecún”
(DICA/AMSCLAE, 2018).

Tzununá 1 El sitio presentó un ancho 2.3 m y una profundidad de 0.06 m. El cauce presentó un caudal de 0.069 m³/s. El sustrato estaba compuesto por piedras, arena gruesa y arena. Se encontraron algunas rocas con crecimiento de perifiton y musgo. El agua era transparente e inodora, pero se observó la presencia de desechos sólidos. Entre la vegetación ribereña se observó caña brava, solanáceas, piperáceas, asteráceas, commelináceas, *Polygonum* e *Ipomoea*. El sitio presentó 100% de exposición al sol (Fig.5).



Figura 5 Sitio “Tzununá 1”
(DICA/AMSCLAE, 2018).

Tzununá 2 El sitio de muestreo presentó un ancho de 1.5 m y una profundidad de 0.11 m. El cauce presentó un caudal de 0.051 m³/s. El sustrato estaba compuesto de arcilla y lodo. Las rocas se encontraron limpias. El agua era turbia e inodora, con presencia de desechos sólidos en el sitio de muestreo. Además, cerca del sitio de muestreo se realiza extracción de arena, por lo que es constantemente perturbado por actividades antropogénicas. La vegetación ribereña estaba conformada por caña brava, asteráceas y poligonáceas. El sitio presentó 100% de exposición al sol (Fig.6).

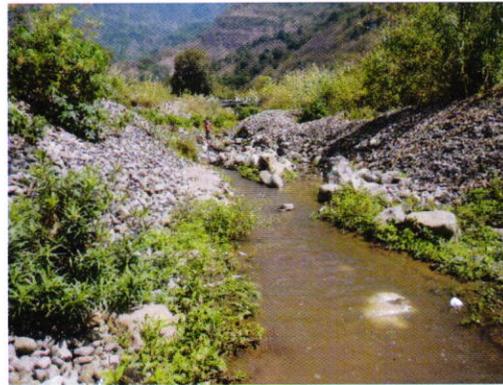


Figura 6. Sitio "Tzununá 2"
(DICA/AMSCLAE, 2018).

Panimajuyú El ancho del río en el sitio de muestreo fue de 1 m y una profundidad de 0.04 m. El caudal en el sitio fue de 0.003 m³/s. El sustrato estaba constituido por piedras y arena gruesa. Se reportó la presencia de rocas de todos tamaños limpias y con perfiton y musgo en la superficie. El agua era transparente e inodora, aunque se observaron desechos sólidos. Entre la vegetación ribereña se encontraron sauce, capulín, cajete, chichicaste, cushing y *Quercus*. El sitio presentó sombra con grandes ventanas de exposición al sol (Fig.7).



Figura 7. Sitio "Panimajuyú"
(DICA/AMSCLAE, 2018).

San Buenaventura 1 El ancho del río fue de 0.1 m y una profundidad de 0.05 m. El cauce en el sitio de muestreo presentó un caudal de 0.005 m³/s. El sustrato estaba compuesto de piedras y arena gruesa. En el sitio se reportó la presencia de rocas medianas y pequeñas limpias y con perfiton y musgo en la superficie. El agua era más o menos turbia e inodora, y se observaron desechos sólidos en el sitio. Entre la vegetación ribereña se encontró aliso, pino, encino, asteráceas, helechos, piperáceas, commelináceas, poaceas, chilca, izote, solanáceas, cultivo de maíz y brócoli, *Quercus* y *Adiantum*. El sitio presentó sombra con ventanas de exposición al sol (Fig.8).



Figura 8 Sitio "San Buenaventura 1"
(DICA/AMSCLAE, 2018).

Macroinvertebrados acuáticos

Durante el 2018, se recolectaron 2,247 macroinvertebrados acuáticos, pertenecientes a 18 Órdenes y 60 familias (Cuadro 4). Los sitios que presentaron mayor abundancia de macroinvertebrados fueron Tzununá 1 (179), Tzununá 2 (174) y Panimajuyú (120); lo que, en el caso de Tzununá 1 y Panimajuyú puede estar asociado a que son sitios con mayor heterogeneidad de micro hábitats y al bajo impacto de origen antropogénico. En el caso de Tzununá 2, puede estar asociado a las adaptaciones de los macroinvertebrados encontrados en este sitio. Los sitios con menor abundancia de macroinvertebrados fueron San Buenaventura 1 (5), Chirij Aj 2 (17) y La Catarata 1 (17), lo que puede deberse a que son sitios con altos niveles de contaminación y gran perturbación del ecosistema. Los sitios de muestreo con mayor diversidad de macroinvertebrados fueron Panimajuyú (29 familias), Tzununá 1 (27 familias) y Tzununá 2 (22 familias). Los sitios con menor diversidad fueron Chirij Aj 2 (2 familias), San Buenaventura 1 (5 familias) y Chirij Aj 2 (5 familias).

Los órdenes que presentaron las mayores abundancias fueron Diptera (328), Ephemeroptera (264) y Trichoptera (206). El orden Diptera, presenta un amplio rango de tolerancia, puede encontrarse exclusivamente en aguas limpias (Blepharidae) o en aguas extremadamente contaminadas (Siphidae) (Menjívar, 2010). El orden Ephemeroptera habita en una gran variedad de ambientes, aunque generalmente se encuentran en aguas limpias y bien oxigenadas, por lo que se consideran indicadoras de buena calidad de agua (Serrano & Zepeda, 2010). Trichoptera puede encontrarse en una gran diversidad de hábitats como aguas con alto contenido de materia orgánica, aguas ácidas o con altas temperaturas; se pueden encontrar prácticamente en todos los ambientes acuáticos, exceptuando aquellos con excesiva contaminación. Se consideran indicadores de buena calidad de agua (Springer *et.al.*, 2010).

Los órdenes que presentaron mayor diversidad fueron Díptera (11 familias), Trichoptera (10 familias) y Hemiptera y Coleóptera (8 familias). Los órdenes Díptera y Trichoptera son muy diversos en cuanto a número de familias, adaptaciones morfológicas y tolerancia a calidad de agua. Hemiptera puede habitar en una gran diversidad de hábitats, aguas estancadas, aguas corrientes e incluso pueden encontrarse en ambientes terrestres húmedos (Pacheco- Chaves, 2010). El orden Coleóptera es uno de los órdenes de insectos más diversos a nivel mundial, aproximadamente 350,000 especies, presentan una amplia variedad de adaptaciones para la vida acuática y debido a su amplio rango de requerimientos ecológicos y biológicos, son usados como indicadores de la calidad ecológica de agua (Gutiérrez-Fonseca, 2010).

Las familias más abundantes fueron Chironomidae (186), Baetidae (163) e Hydropsychidae (106). Estas familias presentan algunas adaptaciones que les permiten colonizar en condiciones donde otras familias no lo hacen. Baetidae e Hydropsychidae presenta una amplia diversidad de taxa lo que hace que su ámbito de tolerancia sea mayor a la de otras familias (Springer *et.al.*, 2010). La familia Chironomidae es posiblemente el grupo más ampliamente adaptado de todos los insectos acuáticos. Habitan en todo tipo de agua, incluyendo aquella con bajas concentraciones de oxígeno. Contienen hemoglobina, lo que les permite almacenar oxígeno dentro de sus cuerpos y sobrevivir en ambientes anóxicos (Menjívar, 2010).

San Buenaventura 2 El ancho del río fue de 3 m y una profundidad de 0.08 m. El caudal en el sitio de muestreo fue de 0.003 m³/s. El sustrato estaba constituido de piedras, arena gruesa, arcilla y lodo. Había rocas de todos tamaños con perifiton y musgo en la superficie, troncos y ramas sumergidas. El agua era turbia e inodora. Había presencia de desechos. Entre la vegetación ribereña se encontraron caña brava, bambú, caná, lengua de vaca, sauce, asteráceas, solanáceas y commelináceas. El sitio presentó sombra con ventanas de exposición al sol (Fig.9).



Figura 9. Sitio "San Buenaventura 2"
(DICA/AMSCLAE, 2018).

La Catarata 1. El ancho del río fue de 1.1 m y una profundidad de 0.09 m. El cauce en el sitio de muestreo presentó un caudal de 0.008 m³/s. El sustrato estaba compuesto de piedras, arena gruesa y arena. Se encontraron rocas medianas con presencia de perifiton y musgo en la superficie. En el sitio se observaron raíces sumergidas y desechos sólidos, lo que puede deberse a la cercanía de cultivos y viviendas. El agua era turbia e inodora. Entre la vegetación del sitio se encontró chichicaste, maíz, aliso, sauco, chilca, solanáceas, liliáceas y poaceas. El sitio presentó grandes claros de exposición al sol (Fig.10).



Figura 10. Sitio "La Catarata 1"
(DICA/AMSCLAE, 2018).

La Catarata 2 El ancho del río fue de 1 m y una profundidad de 0.022 m. El cauce en el sitio de muestreo presentó un caudal de 0.04 m³/s. El sustrato estaba compuesto de piedras, arena gruesa, arcilla y lodo. Se encontraron rocas grandes y medianas con presencia de musgo en la superficie. En el sitio se encontró hojarasca y desechos sólidos. El agua era transparente e inodora. Entre la vegetación del sitio se encontró caña brava, izote, pacaya, trema, helechos, piperáceas, asteráceas, commelináceas y malváceas. El sitio presentó sombra con ventanas de exposición al sol (Fig.11).



Figura 11. Sitio "La Catarata 2"
(DICA/AMSCLAE, 2018).

Chirij Aj 1 El ancho del río fue de 0.6 m y una profundidad de 0.06 m. El cauce en el sitio de muestreo presentó un caudal de 0.005 m³/s. El sustrato estaba compuesto de piedras, arena gruesa, arcilla y lodo. Se encontraron rocas de todos tamaños con presencia perifiton y musgo en la superficie. El agua era transparente e inodora. Entre la vegetación del sitio se encontró maicena, chichicaste, pino, asteráceas, commelináceas, *Eritrina*, *Ipomoea* y *Adiantum*. El sitio presentó grandes claros de exposición al sol (Fig.12).



Figura 12. Sitio "Chirij Aj 1"
(DICA/AMSCLAE, 2018).

Chirij Aj 2 El ancho del río fue de 0.8 m y una profundidad de 0.03 m. El cauce en el sitio de muestreo presentó un caudal de 0.0006 m³/s. El sustrato estaba compuesto de arcilla y lodo. El sitio se encontró muy perturbado, debido a que el agua residual del casco urbano del municipio drena sus aguas grises y negras al río. En el sitio se encontró hojarasca y desechos sólidos. El agua era turbia e inodora. Entre la vegetación del sitio se encontró caña brava, higuerrillo, chilca, asteráceas y cultivos de hortalizas. El sitio presentó 100% de exposición al sol (Fig.13).



Figura 13. Sitio "Chirij Aj 2"
(DICA/AMSCLAE, 2018).

Chaquijyá 1 El ancho del río fue de 0.5 m. El cauce contaba con muy poco caudal, por lo que no se pudo determinar la profundidad ni el caudal, esto debido a que este nacimiento es utilizado para abastecer parte de la aldea. El sustrato estaba compuesto de arcilla y lodo. En el sitio se encontró mucha hojarasca y desechos sólidos cerca del sitio de muestreo. El agua era transparente e inodora. Entre la vegetación del sitio se encontró sapindáceas y *Alnus*. El sitio presentó 100% sombra de exposición al sol (Fig.14).

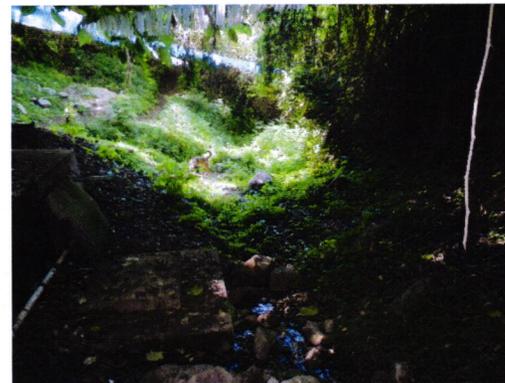


Figura 14. Sitio "Chaquijyá 1"
(DICA/AMSCLAE, 2018).

Chaquijyá 2 El ancho del río fue de 0.1 m y la profundidad de 0.11 m. En el cauce se registró un caudal de 0.015 m³/s. El sustrato estaba compuesto principalmente de arena. En el sitio se encontraron piedras medianas limpias y con crecimiento de perifiton en su superficie. Se observó la presencia de hojarasca, troncos y ramas sumergidos y de desechos sólidos. El agua era transparente e inodora. Entre la vegetación del sitio se encontró ilamo, chilca, musáceas, commelináceas, pino, gramas, *Quercus* y *Adiantum*. El sitio presentó sombra con ventanas de exposición al sol (Fig.15).



Figura 15. Sitio "Chaquijyá 2"
(DICA/AMSCLAE, 2018).

Santa Catarina 1 El ancho del río fue de 1.9 m y se registró un caudal de 0.003 m³/s. El sustrato estaba compuesto principalmente de arcilla y lodo. En el sitio se encontraron piedras medianas y pequeñas con crecimiento de perifiton y mugo en su superficie. Se observó la presencia de hojarasca, troncos y ramas sumergidos y de desechos sólidos. El agua era transparente e inodora. Río abajo del sitio de muestreo, se descarga el efluente de las pilas municipales de Xepic. Entre la vegetación del sitio se encontró helechos, chichicaste y malváceas. El sitio presentó 100% sombra de exposición al sol (Fig.16).



Figura 16. Sitio "Santa Catarina 1"
(DICA/AMSCLAE, 2018).

Santa Catarina 2 El ancho del río fue de 0.6 m y se registró un caudal de 0.035 m³/s. El sustrato estaba compuesto principalmente de piedras, arena gruesa, arcilla y lodo. En el sitio se encontraron piedras medianas y pequeñas con crecimiento de perifiton y mugo en su superficie. Se observó la presencia de *Polygonum* e *Hydrilla* dentro del agua, debido a su cercanía con el lago Atitlán. El agua era transparente e inodora. No se encontró vegetación en el sitio debido a la construcción de un gavión que llega hasta el lago. El sitio presentó 100% de exposición al sol (Fig.17).



Figura 17. Sitio "Santa Catarina 2"
(DICA/AMSCLAE, 2018).

Método

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). Para la determinación del caudal, se utilizó el Método de sección-velocidad utilizando un molinete magnético (Herrera, 2011). Para el monitoreo de macroinvertebrados acuáticos, se utilizó la Metodología estandarizada de muestreo multi-hábitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la Red “D” en ríos de El Salvador (Sermeño *et al.*, 2010).

Procedimientos

- *Caracterización del sitio de muestreo*

En cada sitio de muestreo, se realizó una evaluación visual de las condiciones ambientales al momento de tomar las muestras. Se realizó una breve descripción del lecho del río y de la vegetación ribereña. Se realizó una evaluación de la calidad de hábitat ribereño utilizando el protocolo de evaluación biológica rápida que se basa en factores como el sustrato, la vegetación acuática y ribereña, la heterogeneidad de hábitat, entre otros (Reyes, 2012).

Para determinar el caudal se utilizó el Método sección-velocidad en el que se deben definir separadamente la sección transversal del cauce para calcular el área, y la velocidad del agua. De tal manera que, el caudal del río está dada 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 (Fig. 18); posteriormente se realizaron los cálculos de los caudales con los datos tomados en campo.



Figura 18 Medición de caudales en el sitio Tzununá 1 (DICA/AMSCLAE, 2018).

- *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 fue una sonda de conductividad HACH HQ 40d, una sonda de pH HACH y una sonda de oxígeno HACH LDO. Además, se midieron los sólidos sedimentables con un Cono Imhoff y la transparencia con una botella graduada para medición de transparencia de ríos.

Para el análisis microbiológico de agua, se tomó una muestra en recipientes de plástico de 120ml previamente esterilizados. Los recipientes se abrieron, se llenaron y cerraron bajo el agua para evitar que la muestra se contaminara, y 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), que se determinó utilizando el sistema respirométrico Oxitop. También se tomó una muestra de 250 ml para determinar nitratos (Método automatizado de reducción de hidracina), fosfatos (Método del ácido ascórbico) y turbidez -FAU- (programa 77 fotómetro NOVA 60).

Para la toma de ambas muestras de agua se debe lavar el recipiente tres veces con agua del río y posteriormente se llenan evitando que queden burbujas de aire adentro (Fig. 19). Todas las muestras se transportaron y almacenaron a una temperatura de 4 °C.



Figura 19 Toma de muestras de agua para análisis microbiológico (DICA/AMSCLAE, 2018).

Utilizando los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Anexo 1), se calculó el Índice de Calidad de Agua (Bonilla *et al.*, 2010), para determinar la calidad del agua (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*

Para la recolección de macroinvertebrados se utilizó la Metodología estandarizada de muestreo multi-hábitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la red “D” en ríos de El Salvador (Sermeño *et al.*, 2010). 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 microhábitats (piedra, hojarasca, troncos, arenas y sedimento), los cuales se limpiaron con la mano o con los pies, procurando que el residuo removido quedara atrapado dentro de la red “D” (Fig. 20). Se muestreó por un tiempo efectivo de 2 horas. Se realizó una limpieza *in situ* de las muestras (Fig. 21) y se almacenaron en alcohol al 70% (Sermeño *et al.*, 2010).



Figura 20 Toma de muestras de macroinvertebrados acuáticos con red en D (DICA, 2018).



Figura 21 Limpieza *in situ* de las muestras (DICA, 2018).

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 (Cuadro 3) (Reyes, 2012).

Cuadro 3. Valoración de calidad del agua según el Índice BMWP/Atitlán (Tomado de Reyes, 2012).

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

Resultados y discusión

Calidad de agua y de hábitat de los sitios de muestreo

En la figura 22 se muestran los resultados de los índices RBP, ICA y BMWP/Atitlán (Anexo 2). La calidad de hábitat (Fig. 22 [a]) varió de mala a buena. Los sitios Barreneché, María Tecún, Tzununá 1, Panimajuyú, San Buenaventura 1 y 2, Chirij Aj 1, Chaquijyá 1 y 2 y Santa Catarina 1 presentaron una calidad de hábitat “buena”, lo que podría deberse a que se encuentran ubicados en zonas boscosas con poca influencia antropogénica. Los sitios Catarata 1 y 2 y Santa Catarina 2 presentaron una calidad de hábitat regular, mientras que los sitios Chirij Aj 2 y Tzununá 2 presentaron una mala calidad de hábitat, lo que puede deberse a que son sitios más influenciados por actividades humanas. Los sitios con mala calidad de hábitat, se encuentran justo en la desembocadura de los ríos al lago, por lo que el hábitat se ve afectado principalmente por la modificación del cauce y la poca o nula vegetación ribereña.

La calidad de agua según el ICA varió de mala a buena (Fig. 22[b]). Los sitios Barreneché, Tzununá 1 y Panimajuyú presentaron una buena calidad de agua. Los sitios Tzununá 2, San Buenaventura 1 y 2, Catarata 1 y 2, Chirij Aj 1, Chaquijyá 1 y 2, y Santa Catarina 1 presentaron una calidad de agua “regular”. Los sitios María Tecún, Chirij Aj 2 y Santa Catarina 2 presentaron una mala calidad de agua. La calidad de agua de los sitios de muestreo está directamente influenciada por las actividades antropogénicas que se realizan dentro de la cuenca. Los sitios que se encuentran ubicados en zonas boscosas registraron una mejor calidad de agua comparados con aquellos que se encuentran en la parte baja de cada microcuenca; generalmente estos son sitios con mayor perturbación por actividades humanas, como lo son la agricultura, la descarga de aguas residuales, el cambio del uso de suelo, entre otras. De forma general, la calidad de agua según el ICA disminuyó de las partes altas a las partes bajas de las microcuencas evaluadas.

La calidad de agua según el BMWP/Atitlán varió entre pésima y excelente (Fig. 22[c]). Los sitios Tzununá 1 y Panimajuyú presentaron una excelente calidad de agua; Tzununá 2 y Chaquijyá 1 presentaron una buena y regular calidad de agua respectivamente. Los sitios Barreneché, María Tecún, Catarata 1, Chaquijyá 2 y Santa Catarina 1 y 2 presentaron una mala calidad de agua según este índice. Los sitios San Buenaventura 1 y 2, Catarata 2 y Chirij Aj 1 presentaron una muy mala calidad de agua y Chirij Aj 2 una pésima calidad de agua. La abundancia y diversidad de macroinvertebrados acuáticos depende de la cantidad y disponibilidad de sustratos disponibles para ser colonizados. Las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos de las partes altas de las microcuencas San Buenaventura y la Catarata pueden haberse visto afectadas por las lluvias días antes del muestreo. Debido al grado de sensibilidad de los macroinvertebrados a la contaminación ambiental, pues integra los cambios del ambiente y las condiciones de la calidad de agua, se considera que son los mejores bioindicadores de calidad de agua, por lo que en la figura 23 se resume la calidad de agua de los ríos según su ubicación geográfica dentro de la cuenca del lago Atitlán.

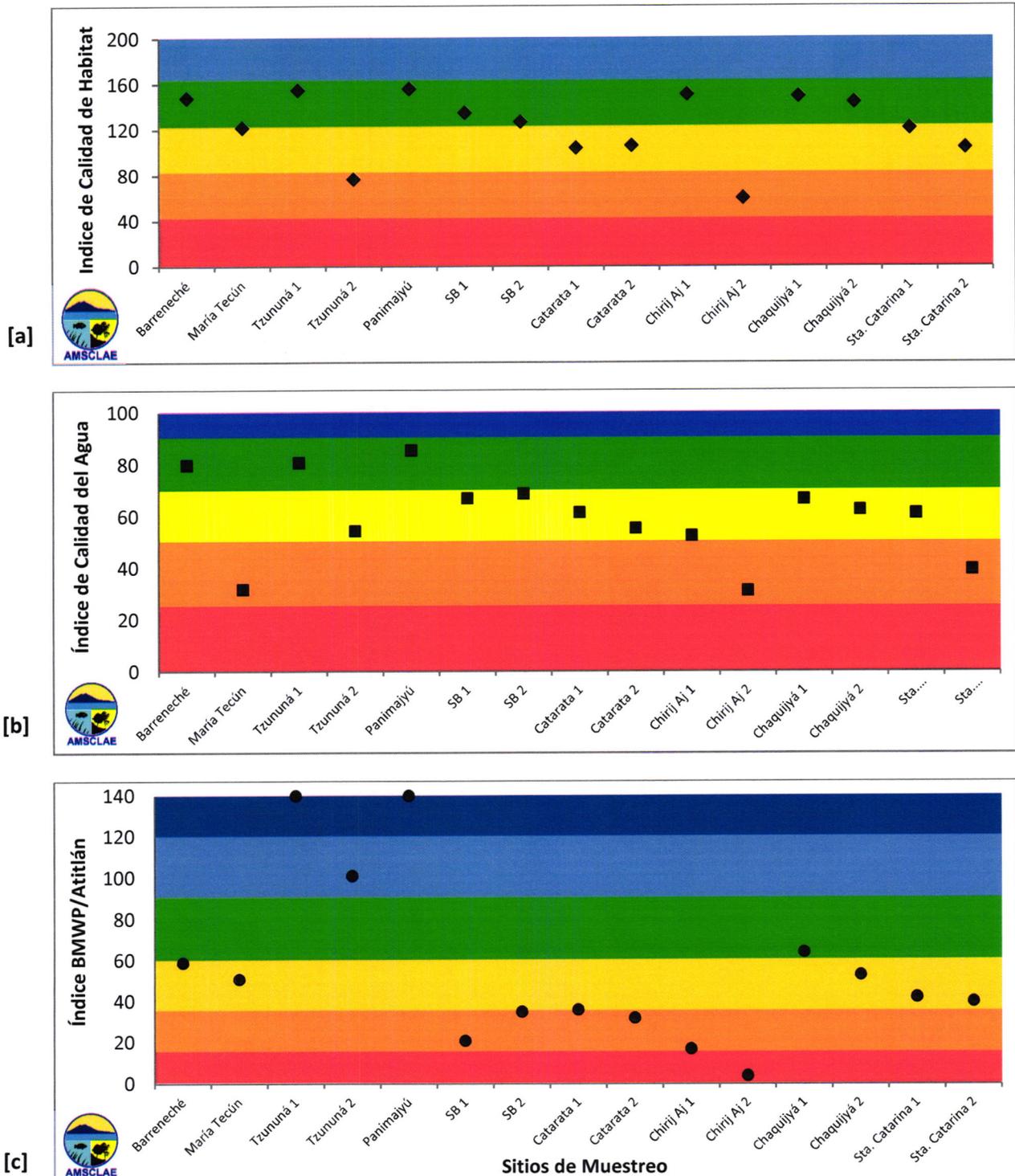


Figura 22 Resultados del [a] Índice de calidad de hábitat. [b] Índice de calidad de agua y [c] Biological Monitoring Working Party para Atitlán (DICA/AMSCLAE, 2018).



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 23. Calidad de agua de los ríos según el índice BMWP/Atitlán y su ubicación geográfica dentro de la cuenca del lago Atitlán. (DICA/AMSCLAE, 2018)

Cuadro 4 Abundancia total de macroinvertebrados acuáticos a nivel de Orden recolectados durante el 2018 en la cuenca del lago Atitlán (DICA/AMSCLAE, 2018).

Orden	Barreneché	María Tecún	Tzununá 1	Tzununá 2	Panimajuyú	SB 1	SB 2
Basommatophora							5
Blattodea						1	
Coleoptera	1	8	27	34	20	1	6
Collembola							
Decapoda							
Diptera	34	26	9	16	15	1	24
Ephemeroptera	1	1	60	63	13		22
Hemiptera	6		1	7	19	1	
Isopoda							
Lepidoptera			3	1	1		
Odonata	6	3	7	18	15		
Oligochaeta	3	6	1	3	2	1	2
Plecoptera			13		7		
Rhynchobdellida							
Trichoptera	24	6	54	23	26		
Trombidiformes					1		
Turbellaria		4	4	9	1		1
Veneroida							

Cuadro 4 (continuación) Abundancia total de macroinvertebrados acuáticos a nivel de Orden recolectados durante el 2018 en la cuenca del lago Atitlán (DICA/AMSCLAE, 2018).

Orden	Catarata 1	Catarata 2	Chirij Aj 1	Chirij Aj 2	Chaquijya 1	Chaquijya 2	Sta. Catarina 1	Sta. Catarina 2
Basommatophora		5						13
Blattodea								
Coleoptera	3	2					3	16
Collembola					1		1	
Decapoda					1		5	
Diptera	8	12	21	17	12	10	31	33
Ephemeroptera	2	4	1		16	29		1
Hemiptera			1		6	3	4	5
Isopoda								
Lepidoptera								
Odonata						5		1
Oligochaeta	3	1			1	3	1	5
Plecoptera					1			
Rhynchobdellida								1
Trichoptera		5			10	18	1	
Trombidiformes	1	1					1	
Turbellaria					2	3		
Veneroida					1			

Conclusiones

- La calidad de hábitat de los sitios de muestreo, según el RBP se encuentra entre mala y buena, lo que indica que existe un fuerte impacto, principalmente por actividades antropogénicas, sobre los cauces de los ríos, incluso en los sitios ubicados en zonas boscosas.
- La calidad de agua según el ICA varió de mala a buena y según el BMWP/Atitlán entre pésima y excelente. Las diferencias pueden estar asociadas al grado de perturbación presente en cada sitio de muestreo, así como a la ubicación de los sitios dentro de cada microcuenca.
- En general, la calidad del hábitat y de agua disminuyó de la cuenca alta a la cuenca baja de cada microcuenca, evidenciando el impacto de las diversas actividades que se realizan dentro de la cuenca, sobre el recurso hídrico.
- Se identificaron 2,247 macroinvertebrados acuáticos, pertenecientes a 18 órdenes y 60 familias. Los órdenes más abundantes fueron Diptera, Ephemeroptera y Trichoptera; mientras que los más diversos fueron Diptera, Trichoptera, Hemiptera y Coleoptera. Las familias más abundantes fueron Chironomidae, Baetidae e Hydropsychidae. Las diferencias se deben a las adaptaciones de cada familia, a la tolerancia de cada orden/familia a condiciones extremas, así como a la diversidad ecológica y morfológica de cada orden.

Recomendaciones

- Debido a que este año la Subdirección Técnica empezó a trabajar por microcuencas, es importante completar la línea base de calidad de agua de los afluentes, ya que únicamente se lograron evaluar ocho microcuencas. Es necesario conocer la calidad de agua, ya que todas las medidas que se implementen dentro de las microcuencas, tendrán un impacto que se verá reflejado en la calidad de agua de los cuerpos de agua superficial.
- Socializar los resultados obtenidos a nivel municipal y comunal para que se tenga el conocimiento de la calidad de agua de las microcuencas evaluadas durante el 2018.
- Implementar programas de reforestación en las zonas ribereñas de los ríos, para reducir los ingresos de contaminantes derivados de las actividades productivas que generan contaminación difusa y que son las más difíciles de controlar. Además, 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.

Referencias bibliográficas

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.

Anexos

Anexo 1 Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del monitoreo de ríos del 2018 (T: Temperatura del agua y ambiental en °C, pH en unidades de pH, TDS: Sólidos disueltos totales en mg/L, OD: Oxígeno Disuelto en mg/L y % de saturación, Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ y S.Sedim: sólidos sedimentables en ml/L).

Sitios	Temperatura ambiental	Temperatura del agua	pH	TDS	Oxígeno disuelto	% saturación	Conductividad	S. Sedim.
Barreneché	16.9	14.5	7.26	56.3	6.61	87.1	113.5	0.1
María Tecún	23.7	19.2	7.76	66.1	5.75	80	132.1	<0.1
Tzununá 1	18.2	16.7	8.3	62.3	7.9	99.5	131.7	<0.1
Tzununá 2	23.1	20.2	8.36	64	7.54	100.2	135.3	0.7
Panimajuyú	19	17.2	8.23	90.2	7.41	96.1	189.9	0.1
San Buenaventura 1	18	19	7.8	36.6	6.55	92.7	77.7	<0.1
San Buenaventura 2	23	16.9	8.47	103.8	8.13	100.9	218	0.2
La Catarata 1	16	17.1	7.86	43.2	6.82	92.3	91.6	<0.1
La Catarata 2	20	16.8	8.52	123.6	8.1	100.7	259	0.2
Chirij Aj 1	21	20.2	7.68	56	6.92	95.7	116	<0.1
Chirij Aj 2	24	19.8	8.1	98.1	5.64	74.2	206.2	0.4
Chaquijyá 1	12	14.5	7.3	49.5	4.56	60.5	105	ND
Chaquijyá 2	17	17.1	7.89	60.1	6.8	92	127.1	ND
Santa Catarina 1	18	18.1	7.71	124.1	6.05	82.2	260	0.3
Santa Catarina 2	25	21.6	8.89	129.7	8.03	109.7	271	<0.1

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2018

Anexo 1 (continuación) Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del monitoreo de ríos del 2018 (DBO: demanda bioquímica de oxígeno en mg/L; Turbidez en FAU; Nitratos en mg/L; Fosfatos en mg/L y *E. coli* en NMP/100 ml).

Sitios	DBO	Turbidez	Nitratos	Fosfatos	<i>E. coli</i>
Barrenehé	4.2	2	4.81	0.044	23
María Tecún	28.2	10	5.03	2.068	79 x 10 ⁴
Tzununá 1	2.5	2	4.14	0.124	17
Tzununá 2	2.8	73	2.24	0.14	23 x 10 ³
Panimajuyú	1.1	1	0.045	0.0586	28
San Buenaventura 1	2.8	6.3	16.3	0.02	79 x 10
San Buenaventura 2	1.4	19	2.6	0.6566	2 x 10 ²
La Catarata 1	3.6	11	15.8	0.025	350x10
La Catarata 2	2.2	6	7.68	0.71	79 x 10 ²
Chirij Aj 1	31.2	4	9.93	0.46	49x10
Chirij Aj 2	70.3	75	3.22	0.5	350x10 ³
Chaquijyá 1	4.2	12	2.63	0.023	66 x 2
Chaquijyá 2	1.1	6	3.54	0.08	200 x 10 ²
Santa Catarina 1	2.5	5	7.44	0.62	240 x 10
Santa Catarina 2	8.1	13	3.94	0.7	> 1100 x 10 ²

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2018.

Anexo 2 Resultados de los Índices RBP, ICA y BMWP/Atitlán.

Índices de Calidad de Hábitat, Calidad de agua y BMWP/Atitlán para el 2018

Sitio	RBP			ICA			BMWP/Atitlán		
	RBP	Calidad	Color	ICA	Calidad	Color	BMWP	Calidad	Color
Barreneché	148	Buena	Verde	80	Buena	Verde	59	Mala	Amarillo
María Tecún	122	Buena	Verde	32	Mala	Naranja	51	Mala	Amarillo
Tzununá 1	155	Buena	Verde	81	Buena	Verde	149	Excelente	Azul
Tzununá 2	77	Mala	Naranja	55	Regular	Amarillo	101	Buena	Celeste
Panimajuyú	156	Buena	Verde	85	Buena	Verde	144	Excelente	Azul
Sn. Buenaventura 1	135	Buena	Verde	67	Regular	Amarillo	21	Muy mala	Naranja
Sn. Buenaventura 2	127	Buena	Verde	69	Regular	Amarillo	35	Muy mala	Naranja
La Catarata 1	104	Regular	Amarillo	61	Regular	Amarillo	36	Mala	Amarillo
La Catarata 2	106	Regular	Amarillo	55	Regular	Amarillo	32	Muy mala	Naranja
Chirij Aj 1	151	Buena	Verde	53	Regular	Amarillo	17	Muy mala	Naranja
Chirij Aj 2	60	Mala	Naranja	31	Mala	Naranja	4	Pésima	Rojo
Chaquijyá 1	149	Buena	Verde	67	Regular	Amarillo	64	Regular	Verde
Chaquijyá 2	144	Buena	Verde	62	Regular	Amarillo	53	Mala	Amarillo
Santa Catarina 1	121	Buena	Verde	61	Regular	Amarillo	42	Mala	Amarillo
Santa Catarina 2	104	Regular	Amarillo	39	Mala	Naranja	40	Mala	Amarillo

Fuente: DICA/AMSCLAE, 2018