

**Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura**

Trabajo de Graduación

**Calidad de agua de los principales ríos tributarios
de la cuenca del lago de Amatitlán, Guatemala**



Presentado por:

T. A. Lucila María Rodríguez Méndez

**Para otorgarle el título de
Licenciada en Acuicultura**

Guatemala, agosto de 2019

**Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura**

Trabajo de Graduación

**Calidad de agua de los principales ríos tributarios
de la cuenca del lago de Amatitlán, Guatemala**



Presentado por:

T. A. Lucila María Rodríguez Méndez

**Para otorgarle el título de
Licenciada en Acuicultura**

Asesora: M. Sc. Norma Edith Gil Rodas de Castillo

Guatemala, agosto de 2019

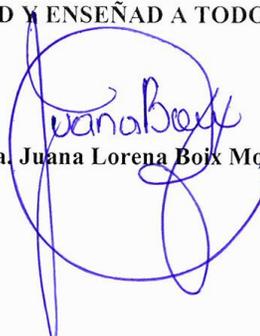
Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura

Consejo Directivo

Presidenta	Dra. Juana Lorena Boix Morán
Secretario	Dr. Pedro Julio García Chacón
Representante Docente	M. Sc. Erick Roderico Villagrán Colón
Representante del Colegio de Médicos	
Veterinarios, Zootecnistas y Acuicultores	Licda. Liliana Maricruz Maldonado Noriega
Representantes Estudiantiles	T. A. Karol Rubí Rivas Díaz
	T. A. Alejandra Raquel Contreras Perdomo

El Director del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-, después de conocer el dictamen favorable del M.Sc. Erick Roderico Villagrán Colón, Coordinador Académico, sobre el trabajo de graduación de la estudiante universitaria María Lucila Rodríguez Méndez, titulado “Calidad de agua de los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán, Guatemala”, da por este medio su aprobación a dicho trabajo. IMPRIMASE.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

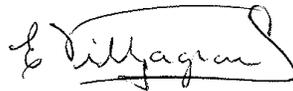

Dra. Juana Lorena Boix Morán



Guatemala, julio del 2019

El Coordinador Académico del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura –CEMA-, después de conocer el dictamen de la asesora M.Sc. Norma Edith Gil de Castillo, al trabajo de graduación de la estudiante universitaria María Lucila Rodríguez Méndez, titulado “Calidad de agua de los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán, Guatemala,”, da por este medio da su aprobación a dicho trabajo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



M.Sc. Erick Roderico Villagrán Colón



Guatemala, julio del 2019

Agradecimientos

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, por darme la oportunidad de ser mi casa estudios.

Al Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, por brindarme las herramientas para convertirme en una profesional, tanto en campo, como en laboratorio.

A la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán, AMSA, por brindarme la oportunidad y las herramientas para realizar mis prácticas.

Al Lic. Manuel Cano y a la Licda. Elena Reyes, por brindarme su conocimiento, experiencias y amistad.

A la División de Control, Calidad Ambiental y Manejo de Lagos, por su amistad en mi período de prácticas.

Acto que dedico

A **Dios** y a la **Virgen**, por el regalo de la vida y por darme una familia tan maravillosa.

A mis **Padres**; Heber Magdiel Rodríguez Álvarez, por ser mi ángel que me guía desde el cielo; y Palmira Lisbet Méndez Quiñonez, por su apoyo incondicional y su amor infinito, gracias por ser un ejemplo de fortaleza y perseverancia.

A mis **hermanos**, Heber Guillermo Rodríguez Méndez y Sergio José Rodríguez Méndez, gracias por estar a mi lado, por creer en mí y por ser un ejemplo a seguir, gracias por su cariño y las risas que me han brindado durante mi vida.

A mi **familia**, primos, tíos, y sobrinos, porque nunca dudaron que lograría este triunfo, por todas las alegrías vividas y por su presencia constante en todo momento, gracias por su apoyo.

A mis **amigos y amigas**; que son mi segunda familia, ustedes saben quiénes son, los llevo en mi corazón y nunca podré pagarle a la vida el privilegio de contar con su cariño, lealtad, apoyo y comprensión por las buenas, las malas y las peores situaciones que me ayudaron a sobrellevar. Gracias por todo.

Resumen

La cuenca del lago de Amatitlán enfrenta problemas ambientales importantes que afectan la calidad de vida de gran parte de su población, generando efectos negativos en la salud y poniendo en riesgo recursos naturales considerados valiosos para el país. Entre los principales problemas ambientales están: La proliferación de basureros clandestinos, contaminación de la red de ríos de la cuenca y del lago por la descarga sin tratamiento de aguas residuales de los hogares e industrias que cuentan con sistema de alcantarillado, la contaminación de los acuíferos superficiales de la cuenca y sobreexplotación donde se corre el riesgo de contaminación de los acuíferos más profundos que sirven como fuente de agua. El presente estudio se llevó a cabo en los siete principales ríos tributarios de la cuenca siendo estos: Frutal/Zacatal, Pinula, Platanitos, San Lucas, Pansalic/Panchiguajá, Villalobos y Pampumay. Se recolectaron muestras de parámetros fisicoquímicos y biológicos bajo las metodologías estandarizadas, se trasladaron al laboratorio que pertenece a la División de Control, Calidad Ambiental y Manejo de Lagos en la Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán [Amsa], donde se analizaron las muestras obtenidas. Para el análisis se utilizaron los índices bióticos IBF-SV y el BMWP-CR, y el ICA de Brown. Los índices bióticos y el ICA clasificaron la calidad de agua de los ríos de la cuenca como muy pobre, debido a una severa contaminación por materia orgánica. Se recolectaron 2,098 organismos distribuidos en 20 familias y ocho órdenes. El orden más diverso fue Diptera, siendo las familias Chironomidae y Psychodidae las que predominan en la cuenca. El río con mayor diversidad y menor abundancia fue Pampumay con 14 familias recolectadas. El resultado del análisis multivariado mostró que la composición de las comunidades de macroinvertebrados están influenciados por actividades antropogénicas que alteran los microhábitats y las variables fisicoquímicas de la cuenca. En conclusión, las descargas de aguas residuales sin tratamiento, aumento demográfico, mal uso del suelo, y la proliferación de basureros clandestinos, son las principales actividades que afectan la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y la calidad del agua en los ríos de la cuenca del lago de Amatitlán.

Palabras clave: bioindicadores, contaminación, índices bióticos, macroinvertebrados.

Abstract

The lake basin of Amatitlán faces important environmental problems that affect the quality of life of a large part of its population, generating negative effects on health and putting at risk natural resources considered valuable for the country. Among the main environmental problems are: The proliferation of clandestine garbage dumps, contamination of the river network of the basin and the lake by the untreated discharge of wastewater from households and industries that have a sewerage system, the contamination of aquifers surface of the basin and overexploitation where there is a risk of contamination of the deeper aquifers that serve as a source of water. The present study was carried out in the seven main tributary rivers of the basin, these being: Frutal / Zacatal, Pinula, Platanitos, San Lucas, Pansalic / Panchiguajá, Villalobos and Pampumay. Samples of physicochemical and biological parameters were collected under standardized methodologies, they were transferred to the laboratory belonging to the Division of Control, Environmental Quality and Management of Lagos in the Authority for the Sustainable Management of the basin and Lake Amatitlán [AMSA], where the samples obtained were analyzed. For the analysis, the biotic indices IBF-SV and the BMWP-CR, and Brown's ICA were used. The biotic indices and the ICA classified the water quality of the rivers in the basin as very poor, due to severe contamination by organic matter. 2,098 organisms distributed in 20 families and eight orders were collected. The most diverse order was Diptera, with the families Chironomidae and Psychodidae predominating in the basin. The river with the greatest diversity and lowest abundance was Pampumay with 14 families collected. The result of the multivariate analysis showed that the composition of the macroinvertebrate communities are influenced by anthropogenic activities that alter the microhabitats and physiochemical variables of the basin. In conclusion, wastewater discharges without treatment, demographic increase, poor land use, and the proliferation of clandestine garbage dumps, are the main activities that affect the structure of the community of aquatic macroinvertebrates and the water quality in the rivers of the lake basin of Amatitlán.

Keywords: bioindicators, contamination, biotic indices, macroinvertebrates.

Índice de contenido

1. Introducción	1
2. Marco teórico y estado del arte	3
2.1. Marco teórico	3
2.1.1. Ecosistemas lóticos	3
2.1.2. Cuenca hidrográfica del lago de Amatitlán	3
2.1.3. Principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán	4
2.1.4. Hidrología	7
2.1.5. Contaminación en los ríos	8
2.1.6. Indicadores de calidad de agua	8
2.1.7. Macroinvertebrados acuáticos	9
2.1.8. Índices fisicoquímicos de calidad del agua	10
2.1.9. Índices biológicos por familia	11
2.1.10. Índices de diversidad biológica	14
2.2. Estado del arte	15
3. Objetivos	17
3.1. Objetivo general	17
3.2. Objetivos específicos	17
4. Materiales y métodos	18
4.1. Enfoque y tipo de investigación	18
4.2. Delimitación de la investigación	18
4.2.1. Delimitación espacial	18
4.2.2. Delimitación temporal	19
4.3. Definición de variables	19
4.4. Muestreo y selección de la muestra	19
4.5. Procedimiento	20
4.6. Procesamiento y análisis de la información	22
5. Resultados y discusión	23
5.1. Parámetros fisicoquímicos	23

5.2. Análisis microbiológico de coliformes fecales	27
5.3. Composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos	28
5.4. Índices de calidad	31
5.4.1. Índice de calidad de agua de Brown (ICA)	31
5.4.2. Índice Biológico a Nivel de Familia (IBF-SV)	34
5.4.3. Biological Monitoring Working Party (BMWP-CR)	37
5.5. Relación de macroinvertebrados con los parámetros fisicoquímicos	39
6. Conclusiones	41
7. Recomendaciones	42
8. Referencias Bibliográficas	43
9. Anexo	49

Índice de figuras

Figura 1.	Ubicación geográfica de la cuenca del lago de Amatitlán	3
Figura 2.	Puntos de muestreo en los principales ríos tributarios del lago de Amatitlán	18
Figura 3.	Toma de parámetros <i>in situ</i>	20
Figura 4.	Recolección de muestras de macroinvertebrados	21
Figura 5.	Limpieza de las muestras de macroinvertebrados	21
Figura 6.	Análisis de coliformes totales en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán	27
Figura 7.	Composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos bénticos en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán	28
Figura 8.	Índices de calidad de agua propuesto por Brown en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán	32
Figura 9.	Mapa del índice de calidad de agua propuesto por Brown en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán	33
Figura 10.	Índice IBF-SV de macroinvertebrados acuáticos en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán	34
Figura 11.	Mapa del índice biótico IBF-SV en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán	35
Figura 12.	Índice BMWP-CR de macroinvertebrados acuáticos en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán	37
Figura 13.	Mapa del índice biótico BMWP-CR en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán	38
Figura 14.	Análisis de correspondencia canónica relacionando la composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en los sitios de muestreo y las variables fisicoquímicas evaluadas en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán.	39

Índice de tablas

Tabla 1.	<i>Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector Occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las Metodologías UWQI y CWQI</i>	11
Tabla 2.	<i>Clasificación de la calidad del agua en función del puntaje total obtenido</i>	13
Tabla 3.	<i>Índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador</i>	14
Tabla 4.	<i>Variables físicas, químicas y biológicas de los puntos de muestreo.</i>	19
Tabla 5.	<i>Parámetros fisicoquímicos por mes y sitio de muestreo</i>	23
Tabla 6.	<i>Listado de riqueza y abundancia de macroinvertebrados recolectados En los meses de muestreo en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán</i>	29
Tabla 7.	<i>Riqueza y abundancia de familias por sitio de muestreo</i>	31
Tabla 8.	<i>Correlación de la abundancia de las familias de macorinvertebrados y los parámetros fisicoquímicos del agua</i>	40

1. Introducción

La cuenca del lago Amatitlán está compuesta por 14 municipios que pertenecen en su mayoría al departamento de Guatemala y de Sacatepéquez, todos los municipios contribuyen a la contaminación ambiental de la cuenca provocando su degradación. La contaminación acelerada de las aguas residuales sin tratamiento provoca la acumulación de nutrientes que hace que el lago por sí mismo pierda su resiliencia, se puede observar a simple vista en el color del lago por la proliferación de microalgas, el mal olor y la proliferación de macrófitas (Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán [AMSA], 2002).

En los últimos años, diversos cuerpos de agua de Guatemala, incluyendo los de la cuenca del lago Amatitlán, se han visto influenciados y hasta amenazados por diversas actividades humanas, aumentando el deterioro del ecosistema y la calidad del agua de manera considerable, tales impactos demandan la implementación de metodologías innovadoras para su preservación y conservación. Pese a esto el uso de análisis fisicoquímicos ha sido el método más utilizado durante décadas para evaluar la calidad de las aguas (Reyes, 2013).

El uso de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de las aguas de los ecosistemas (ríos, lagos o humedales) está generalizándose en todo el mundo. Los beneficios del uso de herramientas integradoras y no solo las características fisicoquímicas del agua para la medida de su calidad, han sido explicadas también en muchos libros y manuales, en la actualidad forma parte de la legislación de muchos países. En cuanto al monitoreo de la calidad del agua, las variables fisicoquímicas solo dan una idea puntual sobre la calidad del agua; no obstante, el monitoreo biológico informa sobre las variaciones en el tiempo conociendo que un organismo es buen indicador de calidad del agua cuando se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es superior al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat (Hampson, Forring, Rigby, & Batemsa, 2017; Ruiz, Valdez, & Aguirre, 2016).

El lago de Amatitlán ha sido objeto de estudio por muchos años y existe mucha información al respecto, sin embargo no hay un estudio en la general de la calidad del agua en la cuenca. Los

principales estudios se han realizado en dos ríos dentro de la cuenca, estos han sido: Beatriz Aguilar (2014) analizó la calidad del agua en el río Pansalic/Panchiguajá en el cual concluyó que la misma está muy contaminada con base a índices bióticos, Ana Arriola en el 2012 analizo la calidad del agua del río Pinula y evidencio la contaminación del cuerpo de agua desde la cuenca alta con base a parámetros fisicoquímicos y biológicos, y por último, Alan Herrera en el 2014 investigo las causas del deterioro de la calidad del agua del río Pinula en el cual los índices evaluaron la calidad del agua de muy mala a pobre.

El objetivo principal de este estudio fue determinar la calidad del agua de la cuenca evaluando los principales ríos tributarios, tomando en cuenta aspectos físicos, químicos y biológicos. En el Laboratorio de aguas, sólidos y biodiversidad que pertenece a la División de Control, Calidad Ambiental y Manejo de Lagos de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán (AMSA), se realizaron los análisis fisicoquímicos y biológicos de esta investigación. Para el análisis de macroinvertebrados se utilizaron los siguientes índices: el Índice Biológico a nivel de Familia en El Salvador IBF-SV y Biological Monitoring Working Party para Costa Rica BMWP-CR. El análisis de parámetros fisicoquímicos se hizo mediante curvas de calibración utilizando el Standard Methods 2017, debido a su especificidad es importante aplicarlas para estudios de impacto ambiental (Baird, Eaton, & Rice, 2017).

2. Marco teórico y estado del arte

2.1 Marco teórico

2.1.1 Ecosistemas lóticos

Son corrientes fluviales que se caracterizan por ser rápidas y estar en constante movimiento. Un ejemplo de estos ecosistemas son los ríos y los arroyos. En estas corrientes fluviales habita una gran cantidad de microorganismos que trabajan como productores y consumidores. Las corrientes fluviales y los microorganismos, vistos de manera macroscópica, conforman el ecosistema lótico. La temperatura del agua de un arroyo es variable, los pequeños, de escasa profundidad, tienden a seguir la temperatura de la atmósfera, calentándose y enfriándose con el cambio de las estaciones del año siendo difícil que se congelen en invierno, esta misma influye en la presencia de organismos que prefieren aguas calientes o aguas frías (Arce, 2016; Rosenberg, & Resh, 1993).

2.1.2 Cuenca hidrográfica del lago de Amatitlán

La cuenca forma parte de la cuenca del río María Linda que pertenece al grupo de cuencas de la Vertiente del Océano Pacífico, la cual se caracteriza por tener ríos cortos y de curso rápido. Se ubica dentro de las coordenadas $14^{\circ}42'66''$ a $14^{\circ}22'75''$ latitudes norte y $90^{\circ}42'73''$ a $90^{\circ}16'86''$ longitud Oeste del Meridiano Greenwich. La cuenca está catalogada como una cuenca exorreica, ya que drena sus aguas por medio del río Michatoya hacia el río María Linda que desemboca en el Océano Pacífico (Amsa, 2015).

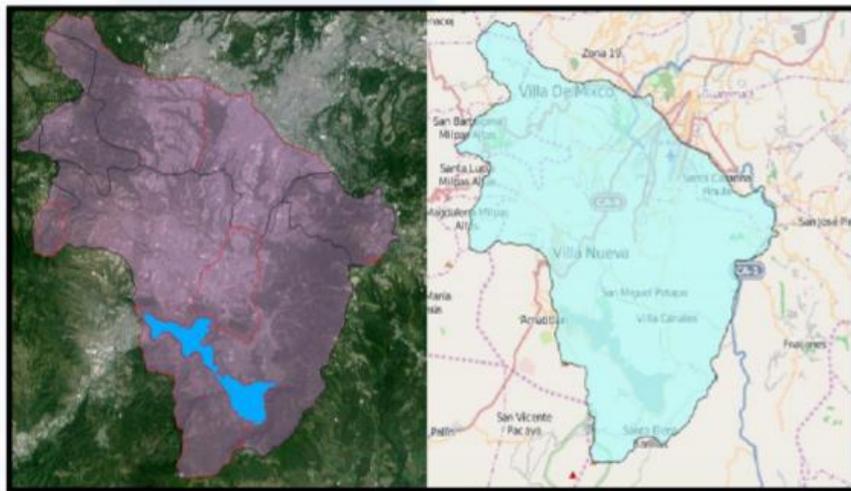


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del lago de Amatitlán
(Geoportal Amsa, 2016)

La cuenca del lago está formada por 14 municipios que pertenecen al departamento de Guatemala y otros de Sacatepéquez, estos son:

- San Pedro Sacatepéquez
- Santiago Sacatepéquez
- San Lucas Sacatepéquez
- San Bartolomé Milpas Altas
- Santa Lucía Milpas Altas
- Magdalena Milpas Altas
- Mixco
- Guatemala
- Santa Catarina Pinula
- San Miguel Petapa
- Villa Nueva
- Fraijanes
- Villa Canales
- Amatitlán

De los municipios de la cuenca, siete de estos tienen influencia directa en el lago de Amatitlán, siendo estos: Villa Nueva, Villa Canales, Santa Catarina Pinula, San Miguel Petapa, Mixco, Amatitlán, y Guatemala (zonas 11, 12, 13 y 21). El lago de Amatitlán, se encuentra ubicado a una latitud norte de 14°30' y su cuenca de 381 km², se encuentra localizado a 1,188 metros sobre el nivel del mar, abarca la parte sur de la Ciudad de Guatemala. El lago es un recurso hídrico de gran importancia para el país debido a las funciones que realiza en la ciudad, puesto que en él se realizan descargas de aguas residuales domésticas y agroindustriales, se desarrollan actividades pesqueras, y se utiliza para abastecimiento de agua, recreación y turismo, aunque en los últimos años el turismo ha venido en descenso debido a la contaminación (Fuentes, 2006).

2.1.3 Principales ríos tributarios de la cuenca del lago Amatitlán

- Río Platanitos

El río Platanitos es un corto río formado por diferentes afluentes. Sus corrientes se encuentran localizadas en la región del municipio de Villa Nueva y Petapa, Departamento de Guatemala, Guatemala. Abarca el 15.31% del área de la cuenca del lago de Amatitlán y con una población asentada de 213,071 habitantes en dicha área. El crecimiento acelerado de la población dentro de la microcuenca (18.92% en 25 años), ha derivado en un cambio de usos de agricultura y cobertura forestal a infraestructura, sin que se haya caracterizado el impacto ambiental de estos cambios (Ibañez, 2015).

De acuerdo a criterios de intensidad de uso de la tierra, el 27% del área está en sobre uso, y solamente el 10% en uso correcto. Estos cambios de uso han causado conflictos de tierra y problemas ambientales, tales como la deforestación, erosión y contaminación de los ríos. El mal manejo de los desechos sólidos, genera basureros clandestinos. En esta microcuenca se generan 127,842 kg de basura diarios, al día de hoy no existen estrategias planificadas de manejo de desechos sólidos; y buena parte de estos se depositan en basureros clandestinos (Ibañez, 2015).

- Río Pinula

La subcuenca incluye a los municipios de Santa Catarina Pinula y Guatemala. Se evidencia que según la clasificación climática de Holdridge. Se encuentra ubicada dentro de dos zonas de vida: Bosque Húmedo Subtropical Templado y Bosque Húmedo Montano Bajo. La subcuenca presenta una altura máxima de 2,000 metros sobre el nivel del mar (msnm) y una mínima de 1,340 msnm. El río abarca nace en la aldea El Canchón, dentro de la finca y lotificación Los Diamantes. La precipitación media es de 1150 mm anuales, oscilando las precipitaciones anuales entre 1,000 y 1,300 mm anuales (Arriola, 2012).

- Río Pampumay

Es un río de bajo caudal con poca perturbación antropogénica. El sustrato en esta zona es principalmente pedregoso, los alrededores están cubiertos de vegetación, encontrándose una gran diversidad de helechos y de briofitas en la orilla del cauce. En la cuenca media se puede observar la influencia humana por el uso del río para lavado de ropa además de uso como área recreacional. El sustrato en esta zona es más lodoso además que presenta 15 zonas del río un poco más profundas. La vegetación es menos espesa predominando algunas gramíneas además de la presencia de algunas plantas ornamentales no nativas, es importante mencionar que en esta zona existe una carretera por lo que el río fue entubado debajo de esta para que continuara su cauce (Zelada, 2012).

- Río Frutal/Zacatal

El río Frutal recibe las descargas del 80% de industrias de la ciudad ubicadas en la zona 12 y todos los ríos reciben las descargas de aguas residuales domiciliarias de los diferentes sistemas habitacionales ubicados dentro de la cuenca. El río carece de un tratamiento previo a su

desembocadura al lago por lo que arrastra una gran cantidad de desechos de diferentes puntos de Villa Nueva, incluyendo la ciudad capital, provenientes de barrancos, calles, basureros clandestinos y autorizados; siendo así foco de contaminación química y biológica, provocando a la población adyacente (Amsa, 2015).

- Río San Lucas

El río San Lucas, es un corto río que se forma al Sur de la cabecera San Lucas Sacatepéquez, al Este del caserío San José, de la confluencia de los ríos Las Vigas y San José. Esta corriente de agua se encuentra localizada en la región del municipio de San Lucas Sacatepéquez (Sacatepéquez); Mixco y Villa Nueva, Departamento de Guatemala. En su recorrido, atraviesa al Sur la aldea Chacorrál. Así mismo al Sureste de la aldea El Aguacate, recibe el río Mansilla. Prosigue su trayecto en dirección al Sur, atraviesa el caserío Villalobos, donde se une con el afluente del río Molino, origen del río Villalobos. En efecto, la corriente a lo largo de su rumbo está rodeada de áreas verdes, en general (Amsa, 2015; Zelada, 2012).

- Río Pansalic/Panchiguajá

El río Pansalic-Panchiguajá inicia con la unión de estos dos ríos (Pansalic y Panchiguajá) el área de inicio se encuentra ubicado en Mixco. El sustrato en todo el río es similar encontrándose zonas con piedras de gran tamaño y otras con un sustrato más lodoso o de piedras de menor tamaño. Todo el río presenta un alto grado de contaminación por lo que se le puede considerar un río de aguas residuales además de las descargas domésticas, se encuentra una gran densidad de desechos desde llantas hasta basura corriente. La vegetación a los alrededores es mínima y si existe son plantas características de lugares perturbados. Este río es uno de los tres ríos tributarios del río Villalobos. La cuenca baja se ha modificado de tal forma de controlar el cauce del río, esto se debe a que esta parte del río atraviesa una zona urbana donde se encuentra un puente que en anteriores ocasiones se vio afectado por el fuerte cauce del río (Zelada, 2012).

- Río Villalobos

El río pertenece a la cuenca del lago de Amatitlán, en el cual se drena, siendo así su mayor afluente y a la vez, foco de extrema contaminación. Está conformado por varias microcuencas; en él convergen los ríos Platanitos, Molino, Pinula, Las Minas, San Lucas y Parrameño. La

contaminación intensa del río se empezó a detectar desde 1978, cuando ya presentaba elevada polución por sólidos en suspensión, hedor fétido y concentraciones de plomo, fósforo, potasio, sodio y nitratos, así como excretas humanas, con presencia de coliformes fecales, provenientes de aguas negras y drenajes caseros (García, 2002).

El río Villalobos es un cuerpo hídrico que recibe las descargas residuales de tipo doméstico, industrial, agrícola, hospitalario entre otros de la parte sur de la ciudad capital, así como de los municipios de San Miguel Petapa, Villa Canales, Villa Nueva y Mixco. El río Villalobos es el tributario que drena sus aguas hacia el lago de Amatitlán en el cual éste cuerpo hídrico se ha convertido en un receptor de todas las aguas residuales de tipo doméstico e industrial de la parte sur de la ciudad capital y municipios circunvecinos (García, 2002).

2.1.4 Hidrología del lago de Amatitlán

El lago de Amatitlán consiste en dos masas de agua, conectadas por un pequeño canal donde fue construido el relleno para que pasara el tren. Esto separó el lago en dos cuerpos de agua con diferentes características físicas, químicas y biológicas. La parte oeste, donde está la playa pública de Amatitlán, recibe todas las descargas provenientes de la región sur de la capital y de la cuenca del río Villalobos. La mayoría de los ríos que componen el sistema hidrográfico de la cuenca del lago Amatitlán transportan altas cargas de contaminantes hacia el lago, las cuales en época seca o de estiaje presentan altas concentraciones. Los principales tributarios reciben contaminación, el río Frutal recibe descargas del 80% de industrias de la ciudad ubicadas en la zona 12 y todos los demás ríos reciben las descargas de aguas residuales domiciliarias de los diferentes sistemas habitacionales ubicados dentro de la cuenca (Amsa, 2015).

2.1.5 Contaminación en el lago

La contaminación de los ríos es la problemática más antigua de contaminación ambiental. El aumento de la población que se asienta en las riberas de los ríos, junto con la actividad industrial, han tenido como consecuencia un incremento en los volúmenes descargados a los cuerpos de agua, con la consecuente entrada de contaminantes. El daño a una cuenca suele relacionarse por la evidente pérdida de la biodiversidad en el ecosistema acuático, llegando a afectar la salud humana. Los agentes infecciosos provenientes de las aguas residuales pueden provocar

trastornos gastrointestinales entre las personas, y los lagos son especialmente vulnerables a la contaminación. Hay un problema, la eutrofización, que se produce cuando el agua se enriquece de modo artificial con nutrientes, lo que produce un crecimiento anormal de las plantas. Los fertilizantes químicos arrastrados por el agua de los campos de cultivo juegan un papel importante. El proceso de eutrofización puede ocasionar problemas estéticos, como mal sabor, olor y color asociado con el agotamiento del oxígeno en las aguas más profundas, y la acumulación de sedimentos en el fondo de los lagos (Aguilar, 2014).

2.1.6 Indicadores de calidad de agua

El uso de bioindicadores se está proponiendo como una nueva herramienta para conocer la calidad del agua, esto no quiere decir que desplace al método tradicional de los análisis fisicoquímicos. Su uso simplifica en gran medida las actividades de campo y laboratorio, ya que su aplicación solo requiere de la identificación y cuantificación de los organismos basándose en índices de diversidad ajustados a intervalos que califican la calidad del agua (Carvacho, 2012; Sharma, & Chowdhary, 2011; Vásquez, et al., 2006).

El concepto de organismo indicador se refiere a especies seleccionadas por su sensibilidad o tolerancia (normalmente es la sensibilidad) a varios parámetros. Usualmente los biólogos emplean bioindicadores de contaminación debido a su especificidad y fácil monitoreo. Los organismos indicadores como la presencia de una especie en particular, que demuestra la existencia de ciertas condiciones en el medio, mientras que su ausencia es la consecuencia de la alteración de tales condiciones (Arce, 2006; Bonada, Prat, Vincent, & Resh, 2005; Campelo, Freitas, Da Silva, Oliveira, & Mendoza, 2017; Custodio & Chanamé, 2016; Yépez et al., 2017). Este método biológico de monitoreo de calidad del agua puede usar desde el taxón, familia, género o incluso la especie, aunque existen dificultades frecuentes a nivel específico y la mayoría de las veces no se cuenta con personal capacitado; aunado a este último, se requiere hacer observaciones en campo en las que a la hora de la colecta de las muestras se pueden definir el taxón o familia y no siempre asiste el especialista. Los organismos que se conservan para su identificación en el laboratorio frecuentemente pierden características físicas (color y ciertos rasgos morfológicos) útiles para su clasificación (Morelli, & Verdi, 2014; Rendón, Artunduaga, Ramírez, Alveiro, & Leiva, 2011).

La complicada situación actual de los ríos ha aumentado el interés general por conocer los factores que influyen en su dinámica, por lo que emplear distintas herramientas metodológicas permite realizar un diagnóstico general del estado de la cuenca y a la vez establecer juicios para el análisis de la calidad de agua. Dada la diversidad de factores que están influyendo sobre la dinámica del recurso hídrico es insuficiente la evaluación basada simplemente en los parámetros fisicoquímicos, ya que impiden tener una visión global de la calidad del agua en los ríos, pues al ser puntuales no muestran los impactos causados en los ecosistemas acuáticos a lo largo del tiempo. Es importante evaluar la biota acuática en forma paralela a la caracterización fisicoquímica, ya que organismos como los macroinvertebrados acuáticos son muy sensibles a las alteraciones del medio, lo cual los posiciona como modelo indicador de la calidad del agua (Bastardo, & Sánchez, 2017; Huamantínco, 2017; Moya, Domínguez, Goittia, & Thierry, 2016; Reyes, 2013; Roldán, 2016).

2.1.7 Macroinvertebrados acuáticos

Se denominan macroinvertebrados acuáticos aquellos invertebrados acuáticos con un tamaño superior a 500 μm , entre los que se incluyen animales como esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos, como los cangrejos, los cuales desarrollan todo su ciclo de vida en el agua. Uno de los grupos de macroinvertebrados acuáticos más ampliamente distribuido en las aguas dulces es el de los insectos (Ladrera, Rieradevall, & Prat, 2013; Muller, et al., 2008; Ruiz, Valdez, & Aguirre, 2016).

Los adultos habitualmente no viven en el agua (excepto en algunos casos), pero los estados inmaduros (huevos y larvas) sí que son acuáticos en muchos grupos de insectos. En estos casos, los adultos salen del agua y completan su desarrollo en el medio aéreo, que suele durar pocas horas o días frente a los muchos meses que pasan en el agua. Evidentemente, para pasar de inmaduro acuático a adulto terrestre se necesitan adaptaciones muy importantes y diversos órdenes de insectos están formados por familias con larvas exclusivamente acuáticas, como los efemerópteros, plecópteros, odonatos o tricópteros. En otros órdenes de insectos, como hemípteros, coleópteros, o dípteros, hay familias con larvas exclusivamente acuáticas, otras solo con larvas terrestres y algunas con ambas adaptaciones (Babbar, 2017; Hampson, Forring, Rigby, & Batemsa, 2017; Ladrera, Rieradevall, & Prat, 2013).

Una de las ventajas que presentan los insectos para ser usados como indicadores de calidad del agua es que se encuentran en casi todos los hábitats, por lo que son afectados en distintos estratos del sistema, presentan un intervalo amplio de respuesta a la contaminación, sus hábitos sedentarios y sus ciclos de vida relativamente largos permiten establecer consideraciones del estado de salud en un sistema acuático (Barbosa, Callisto, & Galdean, 2001; Effend, & Romanto, 2015; Falah, & Haghizadeh, 2017; Vásquez, et al., 2006).

2.1.8 Índices fisicoquímicos de calidad del agua -ICA-

Los índices pueden generarse utilizando ciertos elementos básicos en función de los usos del agua, el “ICA”, define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener. Estos Índices son llamados de “Usos Específicos”. El Índice de calidad de agua propuesto por Brown es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que, en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creo y diseño un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: Índice de Calidad del Agua (ICA) (Caho, & López, 2017).

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes siendo diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de comparar lo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no. Para la determinación del ICA interviene nueve parámetros, los cuales son (Caho, & López, 2017):

- Coliformes Fecales (NMP/100ml)
- Potencial de hidrógeno (unidad de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO mg/L)
- Nitratos (mg/L NO₃)
- Fosfatos (mg/L PO₄)
- Temperatura (°C)
- Turbidez (FAU o UTN)
- Sólidos disueltos totales (mg/L)
- Oxígeno disuelto (OD % saturación).

El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio. Posteriormente al cálculo el índice de calidad de agua de tipo “General” se clasifica la calidad del agua con base a la siguiente tabla (Caho, & López, 2017):

Tabla 1

Determinación del Índice de Calidad de Agua según Brown

Calidad de Agua	Color	Valor
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Fuente: Caho, y López, 2017.

2.1.9 Índices biológicos por familia

Los índices bióticos son una de las maneras más comunes de establecer la calidad biológica de los ríos. Se suelen expresar en forma de un valor numérico único que sintetiza las características de todas las especies presentes. Habitualmente consisten en la combinación de dos o tres propiedades de la asociación: la riqueza de taxa y la tolerancia/intolerancia a la contaminación para los índices cualitativos, y estos junto a la abundancia (absoluta o relativa) para los índices cuantitativos (Gupta, Pondey, & Jakir, 2017; Prat, Ríos, Acosta, & Rieradevall, s.f.; Salam, & Salwan, 2017).

Los índices bióticos se pueden adaptar a cualquier país, incluso modificarlos. Muchos países en Suramérica han utilizado índices que son funcionales a nivel mundial, y los han modificado a su país para que, la información que generen sea un dato verídico y que se pueda aplicar al país. En Guatemala no existen índices bióticos específicos para el país. Para evaluar los macroinvertebrados se utilizaron dos índices, el BMWP de Costa Rica, y el IBF-SV que es el índice de El Salvador lo aplicamos a Guatemala debido a la similitud que hay entre sus climas, su flora y fauna.

Las razones por las cuales se consideran a los macroinvertebrados como los mejores indicadores de la calidad del agua son muchas, entre las que se citan las siguientes (Bastardo, & Sánchez, 2017; Rojas, & Huamantínco, 2017; Roldán, 2003):

- Son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar.
- Poseen una gran diversidad de especies, con un amplio espectro de respuestas ambientales (grados de tolerancia).
- Son sedentarios en su mayoría, reflejando así las condiciones locales (extensión espacial de la contaminación).
- Presentan los efectos de variaciones ambientales de corto tiempo.
- Facilitan información para integrar efectos acumulativos.
- Sus ciclos vitales son relativamente largos.
- Son apreciables a simple vista.
- Se encuentran en una amplia variedad de ambientes acuáticos
- Se pueden criar en el laboratorio.

El índice BMWP es uno de los índices bióticos más populares actualmente son los basados en el método BMWP (Biological Monitoring Working Party). Este índice también combina el número de taxa totales con un valor de tolerancia/intolerancia, pero en este caso el nivel taxonómico es el de familia y el valor final se obtiene de una sumatoria de los valores de intolerancia de cada una de las familias, que van de 0 a 10. El índice se incrementa cuantas más familias intolerantes haya, aunque pueden darse valores altos con muchas familias de puntuación intermedia (Campelo, Freitas, Da Silva, Oliveira, & Mendoza, 2017; Prat, Ríos, Acosta, & Rieradevall, s.f.).

Tabla 2

Clasificación de la calidad del agua en función del puntaje total obtenido

Nivel de Calidad	BMWP y Color que corresponde
Aguas de calidad excelente.	>120
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible.	101-120
Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.	61-100
Aguas de calidad mala, contaminadas.	36-60
Aguas de calidad mala, muy contaminadas.	16-35
Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas.	<15

Fuente: Prat, Ríos, Acosta, & Rieradevall, s.f.

El índice IBF-SV es específico para El Salvador, se originó por la necesidad de implementar un índice biótico que diera resultados fiables y aplicables a El Salvador, para ello se utilizó el Índice Biológico o Biótico a Nivel de Familias (FBI, por sus siglas originales del inglés), el cual fue adaptado para ser aplicado en la medición de la calidad de las aguas de los ríos de El Salvador, denominándose como: Índice Biológico a nivel de Familia de Invertebrados Acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010) (Sermeño, et al., 2010).

Este índice reconoce taxonómicamente a los organismos acuáticos a nivel de familia, se contabilizan los individuos de las diferentes familias recolectadas en cada punto de muestreo, ponderando la abundancia de cada una de ellas al multiplicarlas por puntajes que indican el grado de sensibilidad a la contaminación (desde cero a diez, según se asocien a condiciones desde menor hasta mayor grado de contaminación orgánica) (Sermeño, et al., 2010).

Tabla 3

Índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador

Valor IBF-SV-2010	Categoría	Calidad del Agua	Interpretación del grado de contaminación orgánica
0.00 – 3.75	1	Excelente	Contaminación orgánica improbable
3.76 – 4.25	2	Muy buena	Contaminación orgánica leve posible
4.26 – 5.00	3	Buena	Alguna contaminación orgánica probable
5.01 – 5.75	4	Regular	Contaminación orgánica bastante sustancial es probable
5.76 – 6.50	5	Regular pobre	Contaminación sustancial probable
6.51 – 7.25	6	Pobre	Contaminación muy sustancial probable
7.26 – 10.00	7	Muy pobre	Contaminación orgánica severa probable

Fuente: Semerño, et al., 2010.

2.1.10 Índices de diversidad biológica

- Taxa: Se refiere al número de familias presente por sitio muestreado (Balzarini, & González, 2008).
- Individuals: Se refiere al número de organismos presente por lugar o sitio muestreado (Balzarini, & González, 2008).
- Simpson: Es un índice de diversidad de las especies, permite medir la riqueza de organismos y cuantificar la biodiversidad del hábitat. El rango del índice va de 0 a 1, cuanto más se acerca el valor de D a 1, menor es la diversidad del hábitat; y cuanto más se acerca el valor de D a 0, mayor es la diversidad del hábitat (Balzarini, & González, 2008).
- Shannon: Es un índice de equidad, supone que la heterogeneidad depende del número de especies presentes y su abundancia relativa. En ecosistemas naturales varía entre 0.5 y 5, los valores inferiores a dos se consideran bajos en diversidad, y superiores a tres altos en diversidad (Balzarini, & González, 2008).

- Berger-Parker: Incremento en el valor de este índice se interpreta como un aumento en la equidad y una disminución de la dominancia. La dominancia varía entre 0 y 1, cuanto más cerca de 1 significa que mayor es la dominancia y menor la diversidad (Balzarini, & González, 2008).
- Chao-1: Estima el número de especies esperadas considerando la relación entre el número de especies representadas por un individuo y el número de especies representadas por dos individuos en las muestras (Balzarini, & González, 2008).

2.2 Estado del arte

El lago Amatitlán ha sido muy estudiado a lo largo de su historia, existen muchos estudios sobre la calidad del agua del lago en general, y sobre algunos ríos dentro de la cuenca. Sin embargo, los estudios de macroinvertebrados no son muchos, comparados con los estudios fisicoquímicos dentro de la cuenca. Los estudios que hay son sobre ríos específicos dentro de la cuenca del lago Amatitlán, pero no sobre un estudio en general de los ríos. Amsa ha divulgado algunos comunicados donde se escriben a nivel de Filo los macroinvertebrados colectados, pero no publica algún índice que ayude a evaluar la calidad de agua a través de estos organismos.

En los últimos ocho años AMSA ha realizado colectas de macroinvertebrados acuáticos en los principales ríos tributarios del lago Amatitlán, estos son: Pansalic/Panchiguajá, San Lucas, Pinula, Villalobos, Frutal/Zacatal, Pampumay y Platanitos. Amsa ha logrado documentar un total de tres Filo de macroinvertebrados acuáticos que habitan en la cuenca, estos son: Filo Platyhelminthes, Filo Annelida, y Filo Arthropoda (Amsa, 2015).

Aguilar (2014), realizó una investigación sobre macroinvertebrados que hizo en el río Molino (Pansalic/Panchiguajá) en el año 2010 al 2012. En tres años evaluó la calidad del agua de ese río y observó que la contaminación se ha ido incrementando según el índice BMWP y el IBF-SV. Entre sus recomendaciones indica que Amsa realice una línea base de la presencia de macroinvertebrados en las cuencas y microcuencas del lago de Amatitlán, y también recomienda buscar otra metodología de conservación de los organismos puesto que muchas muestras se perdieron debido a la conservación.

Arriola (2012), hizo una investigación analizando parámetros fisicoquímicos y biológicos en el río Pinula, la cual presentó resultados en los cuales catalogó de muy mala a pobre la calidad de agua, evidenciando la contaminación de este cuerpo de agua desde la cuenca alta. Entre sus recomendaciones anota que Amsa amplie la información de comunidades de macroinvertebrados en los ríos que forman parte de la cuenca del lago de Amatitlán, con el fin de analizar a lo largo del tiempo, la variación en la calidad de agua.

Zelada (2012), analizó la riqueza, composición y su abundancia de macroinvertebrados en dos de los principales ríos tributarios del lago de Amatitlán. En su análisis observó una tendencia de los macroinvertebrados a distribuirse según la concentración de oxígeno disuelto y la cantidad de nutrientes (nitritos y ortofosfatos) en el medio. Observó que las familias del Orden Diptera (Chironomidae, Psychodidae, Tabanidae, Tipulidae) son tolerantes a bajas concentraciones de oxígeno y alta carga de materia orgánica. Entre sus recomendaciones esta que se debe realizar muestreos a lo largo de todo el año y no únicamente uno en cada época, para identificar los puntos temporales en donde ocurren cambios en la abundancia y riqueza de las familias.

Herrera (2014), realizó una investigación sobre las causas de deterioro de la calidad de agua del río Pinula. Dentro de su investigación utilizó el fitobentos y macroinvertebrados durante la época seca del año 2012. Sus resultados concluyeron que, debido a la presencia de organismos del Orden Diptera, los índices indicaron que la calidad es muy mala a pobre. Dio evidencia de un mal manejo de aguas residuales por falta de gestión integral de la cuenca del río Pinula. Los resultados de mala calidad se deben que la microcuenca se encuentra en zonas residenciales, densamente pobladas, agrícolas e industriales.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar la calidad del agua tomando en cuenta los aspectos físicos, químicos y biológicos de los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán.
- Describir la composición de la comunidad de macroinvertebrados para los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán.
- Establecer la relación de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos con los parámetros fisicoquímicos en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán.

4. Materiales y métodos

4.1 Enfoque y tipo de investigación

La investigación que se realizó fue descriptiva, acerca de la calidad del agua en general de la cuenca del lago de Amatitlán, analizando los principales ríos tributarios de la cuenca.

4.2 Delimitación de la investigación

4.2.1 Delimitación espacial

Los muestreos se realizaron en los puntos establecidos por AMSA, cada uno de los sitios se georeferenció mediante sus coordenadas geográficas (Anexo 1) (Figura 4).

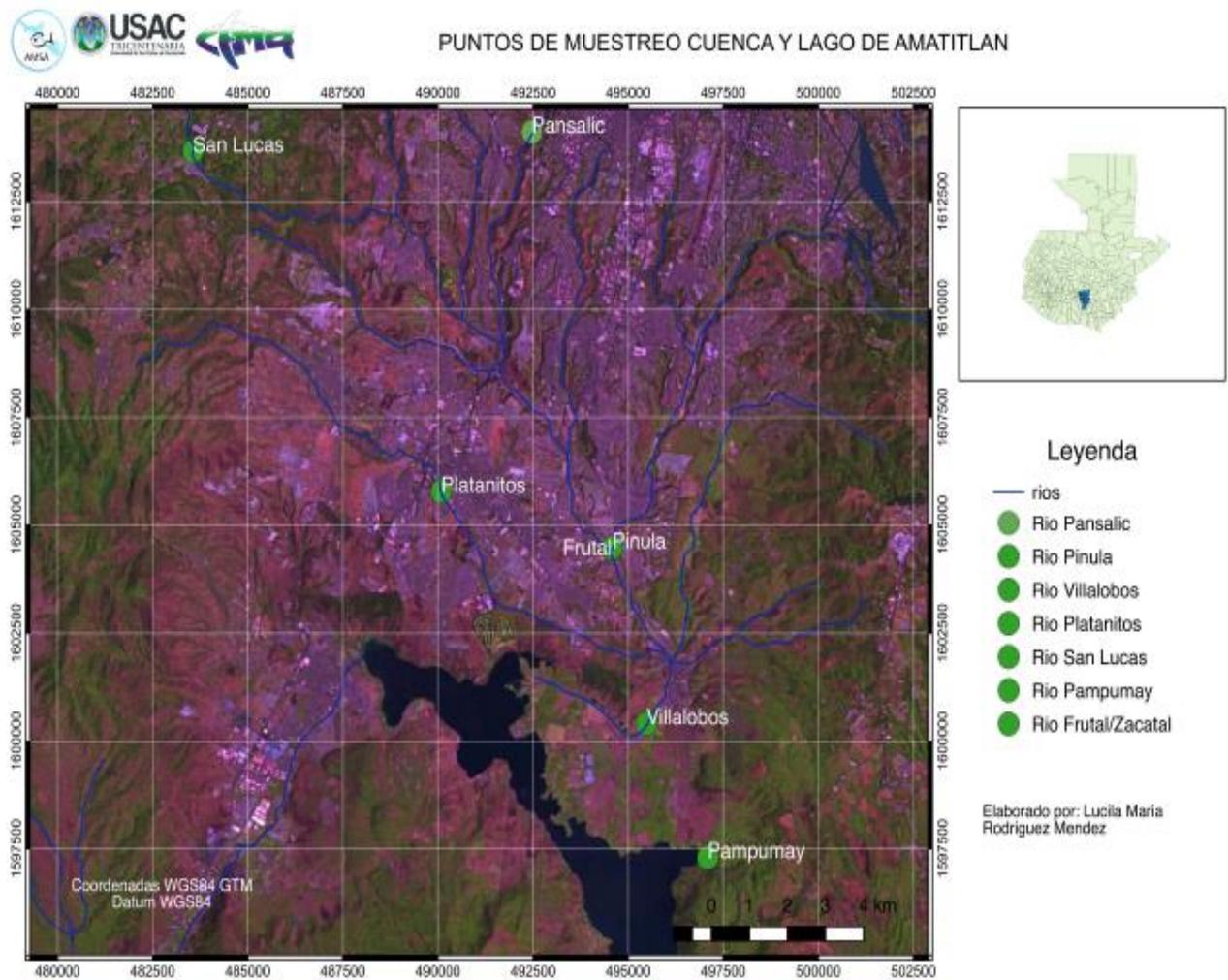


Figura 2. Puntos de muestreo en los principales ríos tributarios del lago de Amatitlán

4.2.2 Delimitación temporal

Los datos se obtuvieron en cuatro meses de muestreo, siendo estos: mayo, junio, julio y agosto.

4.3 Definición de las variables

Las variables que se utilizaron fueron los macroinvertebrados y parámetros fisicoquímicos mediante curvas de calibración y siguiendo el Standard Methods 2017 (Tabla 4).

Tabla 4

Variables físicas, químicas y biológicas de los puntos de muestreo

Variable	Dimensional
Macroinvertebrados	No. familias
Temperatura	°C
pH	Unidad de pH
Oxígeno Disuelto	mg/L OD
Porcentaje de Saturación	% Saturación
Conductividad	μS/cm ²
Sólidos Disueltos Totales	mg/L TDS
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L DBO
Ortofosfatos	mg/L PO ₄
Nitrógeno Total	mg/L N _T
Nitrógeno de Amonio	mg/L NH ₄
Nitrógeno de nitrato	mg/L NO ₃
Nitrógeno de nitrito	mg/L NO ₂
Turbidez	NTU

4.4 Muestreo y selección de la muestra

El tamaño de la muestra no importó para el tipo de estudio, sin embargo, el punto de referencia donde se tomó la muestra sí, las muestras fueron colectadas en los puntos establecidos por Amsa. Para la obtención de macroinvertebrados se utilizó un muestreo probabilístico aleatorio en los puntos establecidos anteriormente y se analizaron en el Laboratorio Analítico de Aguas, Sólidos y Biodiversidad, en Amsa.

4.5 Procedimiento

El monitoreo se llevó a cabo en los principales ríos tributarios de la cuenca, reconocidos así por la cantidad de sedimentos y materia orgánica que atribuyen al lago, estos son: San Lucas, Pansalic/Panchiguajá, Pinula, Frutal/Zacatal, Platanitos, Pampumay, y Villalobos. Esta actividad se realizó mensualmente, participaron los técnicos a cargo y practicantes que llegaron a apoyar a la División de Control, Calidad Ambiental y Manejo de Lagos.

Se utilizó equipo multiparamétrico: Oxímetro, conductímetro y potenciómetro (Figura 5), en cada río para medir parámetros *in situ* (temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales, y pH). Con un caudalímetro se calculó el caudal de cada río, se tomó primero el ancho y se midió cada 30 cm como indica la metodología (Baird, Eaton, & Rice, 2017; Munné, & Prat, 2011; Stein, et al., 2008).



Figura 3. Toma de parámetros in situ

Se tomaron muestras de agua para: análisis fisicoquímico, absorción atómica (análisis de metales pesados), análisis microbiológico, cromatografía de gases (para pesticidas) y macroinvertebrados. Para las muestras de macroinvertebrados se utilizó una red en D (Figura 6), en el centro de cada río se removió el sedimento por 15 minutos y con la red colocada a favor de la corriente se colectó la muestra. Lo capturado se agregó a un balde, se limpió, y se depositó en botes identificados fijados con alcohol al 95% (Barbour, et al., 1999; Sermeño, et al., 2010).



Figura 4. Recolección de muestras de macroinvertebrados

Las muestras de macroinvertebrados se limpiaron en un tamiz de 500 μm , se buscaron con pinzas y se colocaron en frascos etiquetados con alcohol al 95% y glicerina. Este proceso se repitió con todas las muestras de todos los ríos. Para la identificación de los organismos se usaron claves dicotómicas para llegar hasta el nivel de familia. Se introdujeron en tubos sellados con alcohol al 70% y glicerina, se etiquetaron y se guardaron en la colección de Amsa.



Figura 5. Limpieza de las muestras de macroinvertebrados

En el laboratorio haciendo uso de curvas de calibración según el Standard Methods 2017 se analizaron los parámetros químicos necesarios para la investigación, debido que son utilizados por su exactitud y su confiabilidad en los resultados (Baird, Eaton, & Rice, 2017; Campelo, Freitas, Da Silva, Oliveira, & Mendoza, 2017; Yépez, et al., 2017).

4.6 Procesamiento y análisis de la información

Los datos recolectados se tabularon de manera sistemática en hojas del programa de Excel, para realizar los análisis correspondientes, estos son:

- **Índices de Calidad de Agua:** Se utilizaron dos índices bióticos, el BMWP y el IBF-SV. Con la base de datos ya tabulada se obtuvo un resultado sobre la calidad del agua correspondiente a los meses de muestreo. Para el índice de parámetros fisicoquímicos se realizó un ICA de Brown.
- **Índices de Diversidad Biológica:** Existen varios índices para medir la diversidad alfa, cada uno ligado al tipo de información que se desea analizar. Para esta investigación se utilizaron los índices de: Simpson, Shannon, Berger Parker, y Chao-1. Utilizando el programa de Past 3, se obtuvo los índices de diversidad, para establecer la abundancia relativa de los organismos, la riqueza de las poblaciones, y su dominancia o equidad de las comunidades, por sitio de muestreo.
- **Parámetros fisicoquímicos:** La posible influencia de las variables fisicoquímicas sobre la composición de las comunidades, se determinó con un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC), técnica de gradiente directo que proporciona una ordenación de estaciones relacionada directamente con los valores de los factores ambientales. Para realizar el análisis se utilizó el programa PC-ORD 5 Multivariate Analysis of Ecological Data. Se evaluó la agrupación de los taxa en el eje de ordenación.

5. Resultados y discusión

5.1 Parámetros fisicoquímicos

Las variaciones de los parámetros fisicoquímicos durante los meses de muestreo se observan a continuación (Tabla 5):

Tabla 5

Parámetros fisicoquímicos por mes y sitio de muestreo

Mes	Sitio	T	pH	% Sat	TDS	DBO	PO ₄ ⁻³	N-total	N-NH ⁴⁺	N-NO ²⁻	N-NO ³⁻	Turb
Mayo	RFZ	30.4	7.77	1.2	515	190	2.8327	43.0719	24.3806	0.0074	0.1399	180
	RPN	28.2	7.86	0.8	536	220	2.3128	35.5087	19.4263	0.0102	0.1438	180
	RPL	26	7.8	12.6	415	260	1.6818	47.4577	22.9324	0.0087	0.1638	560
	RVL	24.1	7.73	20	536	160	1.8983	36.1411	18.4999	0.0081	0.1238	220
	RPM	28.7	7.07	62	90	<6	0.1175	1.0557	0.0681	0.0072	0.4233	1
	RSL	15.9	6.76	61.7	22	80	1.0759	13.0545	10.4144	0.2122	1.9853	52
	RPP	24	7.27	37	220	200	0.3557	25.1453	9.9159	0.6448	0.9994	1,680
Junio	RFZ	27.7	7.74	19.7	298	110	0.8646	17.2125	9.1402	0.357	0.1443	380
	RPN	26.4	7.7	3.6	432	170	1.657	23.4952	14.4933	0.0114	0.1575	270
	RPL	23.3	7.81	18.3	411	230	2.1011	35.8697	20.0619	0.0171	0.1711	340
	RVL	25.2	7.77	15.1	460	75	1.9104	20.8297	18.1777	0.0149	0.1445	100
	RPM	26.9	7.84	63.8	90	<6	0.1297	1.0855	0.0365	0.0105	0.6797	5
	RSL	19.1	7.62	51.1	228	55	1.2044	15.5153	12.0913	0.2331	0.7592	50
	RPP	23	7.47	62.2	149	110	0.3969	16.8121	4.9492	0.1841	0.8485	1575
Julio	RFZ	27.7	7.655	1.2	457	140	1.4791	33.3482	20.44	0.0099	0.1495	380
	RPN	24.6	7.684	1.1	534	260	2.7439	43.3221	24.5591	0.0196	0.1724	300
	RPL	22	7.93	4.4	424	260	2.113	43.8056	20.8268	0.0097	0.1737	290
	RVL	23.4	7.74	13.02	477	130	2.0637	33.8769	18.7159	0.0082	0.1493	210
	RPM	25.3	7.968	88.8	89	<6	0.117	1.08	0.0554	0.0071	0.6296	14
	RSL	16.3	7.91	67	261	60	1.2269	19.8833	13.5707	0.2474	1.2567	36
	RPP	22.9	6.922	48.7	236	200	0.0187	46.0852	7.1034	0.1713	1.0571	10600
Agosto	RFZ	22.9	7.67	0.3	431	140	1.0488	33.4129	18.142	0.0075	0.13	130
	RPN	22.8	7.97	10.3	426	240	2.2423	37.4549	23.4557	0.1836	0.1269	265
	RPL	20.1	8.02	66.7	296	220	1.2075	40.2122	19.9471	0.0959	0.4291	1,200
	RVL	24.7	7.75	32.4	351	130	0.7706	25.9446	13.3517	0.0281	0.1547	350
	RPM	26.2	8.22	96.6	88	<6	0.1111	1.4798	0.0441	0.0043	0.7476	8
	RSL	17.9	7.88	58.6	303	85	1.4488	25.6779	16.8113	0.194	0.4039	58
	RPP	22.5	7.82	7..1	414	240	1.8711	39.9749	23.1515	0.0095	0.268	214

RFZ= río Frutal/Zacatal, RPN= río Pinula, RSL= río San Lucas, RPP= río Pansalic/Panchiguajá, RPM= río Pampumay, RVL= río Villalobos, RPL= río Platanitos, T= temperatura (°C), pH= potencial de hidrógeno (adimensional), %Sat= saturación de oxígeno (%), TDS= sólidos totales disueltos (mg/l), DBO= demanda bioquímica de oxígeno en cinco días (mg/l), PO_4^{3-} = ortofosfato (mg/l), N-NH_4^+ = nitrógeno de amonio (mg/l), N-NO_3^- = nitrógeno de nitrato (mg/l), N-NO_2^- = nitrógeno de nitrito (mg/l), N-total= nitrógeno total (mg/l), Turb= turbiedad (NTU).

La temperatura es un factor muy importante en la solubilidad de gases y sales, los ríos Frutal/Zacatal, Pinula y Pampumay presentaron una temperatura mayor a 25°C (Anexo 2) es un indicio que dificulta la disponibilidad de oxígeno, en Pampumay se muestreó a medio día cuando el sol se estaba en su punto más alto provocando que se elevara. El mes con mayor aumento fue mayo debido que aún se encontraba en época seca, cuando las temperaturas son elevadas existe una mayor concentración de nutrientes en cuerpos de agua, y el oxígeno disuelto no esta disponible (Bonada, Prat, Vincent, & Resh, 2005; Gupta, Pondey, & Jakir, 2017).

En los meses de muestreo (Anexo 3) el pH se mantuvo en un rango entre 6 y 8, en los principales ríos tributarios, tomando en consideración que los ríos presentan abundante materia orgánica y desechos industriales que tienden a elevar el grado de acidez, no se encontraron fuera de los rangos en aguas naturales. Esto se debe en gran parte que son ríos muy caudalosos que favorecen el movimiento de las aguas ayudando que el pH este ligeramente básico influenciando en procesos químicos (Caho, & López, 2017; Kumarie, Tripathi, & Pathec, 2013; Roldán, & Ramírez, 2008; Zeinalzadeh, & Rezaei, 2017).

Se observa (Anexo 4) que el río con mayor saturación de oxígeno es Pampumay, no presenta contaminación de descargas de aguas residuales, son aguas cristalinas; San Lucas y Pansalic/Panchiguajá presentan una alta contaminación de aguas residuales sin embargo tuvieron un dato de oxígeno elevado debido a que se encuentran a altas altitudes y tienen bastante dinámica fluvial. Los ríos con menor porcentaje de saturación fueron Frutal/Zacatal y Pinula, estos ríos no tienen mucha dinámica fluvial agregando las descargas residuales hacen que ambos tengan poco oxígeno. El río Villalobos es un río muy caudaloso y con bastante dinámica fluvial, sin embargo su nivel de oxígeno es muy bajo, debido que recibe las descargas residuales e industriales de la cuenca del lago (González, 2013; Lasso, 2009).

Los cuerpos de agua (Anexo 5) que tienen mayor cantidad de sólidos disueltos totales, presentan mayor conductividad y salinidad. Los ríos más importantes para observar la dinámica de aporte tanto de nutrientes como de sedimentos al lago son el Villalobos y Pampumay, como podemos observar Pampumay aporta menor carga de sedimentos en comparación al Villalobos, que aporta una cantidad considerable de sólidos al lago de Amatitlán contribuyendo a su eutrofización (Coguanor, 2001; García, Hernández, & Suchini, 2013; Segnini, et al., 2009).

Los ortofosfatos son nutrientes para las plantas, pero también tienen aplicaciones diversas y como fertilizantes, para aguas naturales el fosfato debe estar entre 0.02 y 1. El río Pampumay (Anexo 6) se encuentra entre los valores promedio para aguas naturales indicando que no hay algún tipo de contaminación por aguas fertilizadas o detergentes, los demás ríos indican que reciben descargas agroindustriales (fertilizantes) y uso de detergentes, que se encuentran en valores por arriba de lo normal, y no hay una diferencia entre épocas del año, hay meses donde hay más descargas que otras (García, Hernández, & Suchini, 2013; Segnini, et al., 2009; Quiroz, Izquierdo, & Méndez, 2017; Roldán, & Ramírez, 2008).

El nitrógeno total (Anexo 8) es la suma del nitrógeno orgánico, amonio, nitrito y nitrato, en aguas residuales se encuentra en valores entre 20-50 mg/L. Los resultados (Anexo 7) salieron más elevados que el resto de iones nitrógeno, como se esperaba, el río Pampumay presentó un valor por debajo de 5 mg/L de nitrógeno total, indicio que no hay ningún tipo de contaminación por fertilizantes o descargas de aguas residuales. San Lucas fue el único que presentó un incremento conforme pasaba el tiempo, esto manifiesta que también iban aumentando las descargas residuales al río superando 20 mg/L. Los otros cinco ríos presentaron valores que corresponden a descargas de aguas residuales, el más elevado fue Platanitos dado que en el punto de monitoreo hay tres descargas de aguas residuales. (García, Hernández, & Suchini, 2013; Roldán, & Ramírez, 2008; Rojas, & Huamantínco, 2017).

El siguiente proceso en el ciclo del nitrógeno son los nitritos, raras veces aparece en concentraciones mayores de 1 mg/L, aun en fuentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. El nitrógeno de nitrito se encontró (Anexo 9) en menor proporción en comparación a los demás iones de nitrógeno. En el muestreo Pansalic/Panchiguajá en el mes de mayo presentó un alto valor de nitritos de 0.66 mg/L, sin embargo esos valores indican presencia de descargas

de residuales (Coguanor, 2001; García, Hernández, & Suchini, 2013; Roldán, & Ramírez, 2008; Salam, & Salwan, 2017).

Los nitratos constituyen el último estado de oxidación del nitrógeno. El resultado de nitrógeno de nitrato presentó (Anexo 10) valores alternos que, a los iones de nitrógeno anteriores, es decir que los sitios que tenían un menor valor ahora tuvieron un valor más elevado. Por ejemplo, el río San Lucas, Pansalic/Panchiguajá y Pampumay presentaron una mayor cifra que los demás, sin embargo, los datos se encuentran entre los rangos de cuerpos de agua mesotrófico que va de 1.0 a 5.0 mg/L (Coguanor, 2001; García, et al, 2013; Roldán, & Ramírez, 2008; Zeinalzadeh, & Rezaei, 2017).

Los resultados de turbidez demostraron (Anexo 11) que los ríos Pansalic/Panchiguajá y Platanitos presentaron valores arriba de 1000 NTU, debido al mal manejo de desecho sólidos y líquidos muchas industrias no tratan sus aguas y tiran sus desperdicios crudos a los ríos provocando un alto valor en su turbidez y afectando la calidad de sus aguas. El río Villalobos por su dinámica fluvial la cantidad de sedimentos es menor que los anteriores ríos, sin embargo, son datos elevados que descarga en el lago. Según la normativa de Guatemala, Coguanor, la turbidez del agua para consumo humano debe estar entre 5 NTU como límite máximo aceptable y 15 NTU como límite máximo permisible (Coguanor, 2001; García, Hernández, & Suchini, 2013).

En aguas residuales domésticas, el valor de DBO representa en promedio de 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable. A excepción de Pampumay (Anexo 12), todos los sitios de muestreo presentaron un alto DBO indicio que hay una alta concentración de bacterias en los ríos, lo permisible de acuerdo a la normativa regional el agua superficial de calidad debe tener una Demanda Biológica de Oxígeno de 3 a 6 mg/l, el único que aplica a la normativa es Pampumay con valores menor a 6 mg/L que indica ausencia de contaminación por bacterias coliformes (Bonada, Prat, Vincent, & Resh, 2005; Cahó, & López, 2017; Coguanor, 2001; García, et al, 2013; Roldán, & Ramírez, 2008).

5.2 Análisis microbiológico de coliformes totales

La normativa Coguanor establece que la verificación de la calidad microbiológica en aguas potables, los coliformes totales no deben ser detectables en 100 ml de agua, ya sea para consumo directo o aguas tratadas que entra al sistema de distribución. Se observa (Figura 8) que los datos muestreados sobre pasan el límite de detección corroborando la presencia de contaminación por aguas residuales, el río Pampumay es el único que sus valores de coliformes totales se encuentran por debajo del límite esto indica que no hay ningún tipo de descargas de aguas residuales en el sitio, es un sitio rodeado de actividades agrícolas y no hay urbanización cercana, manteniendo un estándar de calidad ambiental. Los demás ríos presentaron valores muy altos de concentración de coliformes totales, sobre saliendo el río Frutal/Zacatal, Pinula y Pansalic/Panchiguajá son los sitios que más descargas de aguas residuales reciben en la cuenca debido a su cercanía en municipios muy poblados donde las descargas domesticas salen directo a los ríos sin ningún tipo de tratamiento (Coguanor, 2001; Roldán, & Ramírez, 2008; Ruiz, Valdez, & Aguirre, 2016).

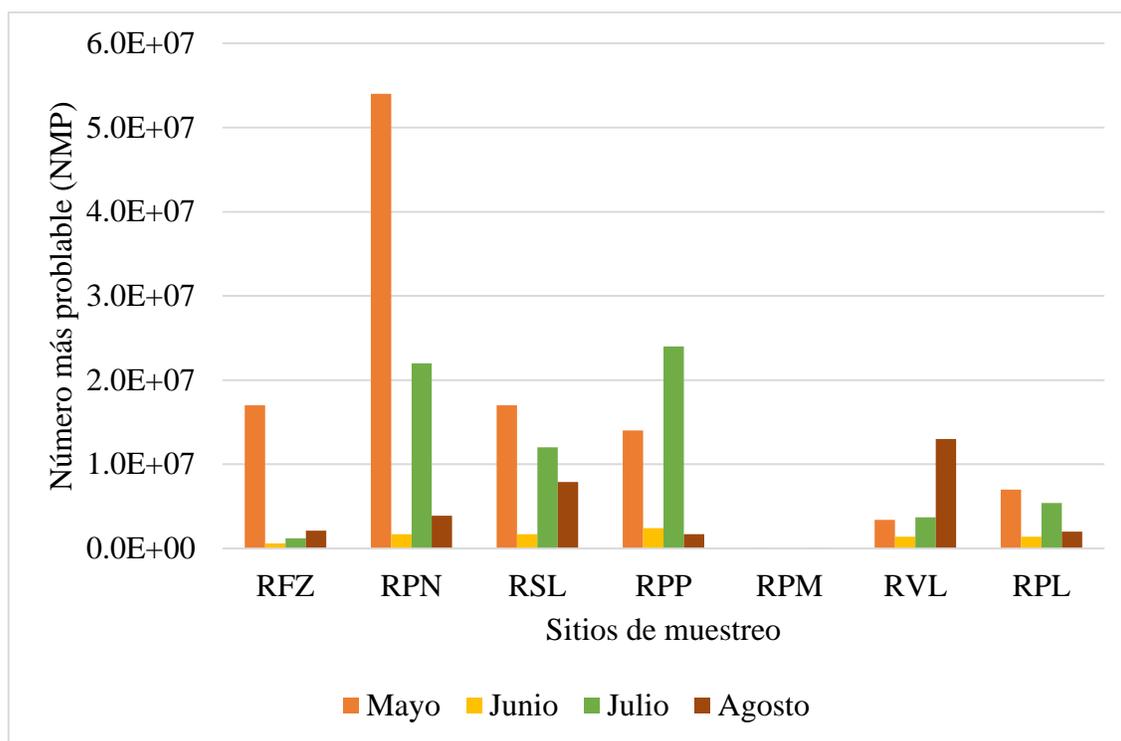


Figura 6. Análisis de coliformes totales en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán. (RFZ) río Frutal/Zacatal, (RPN) río Pinula, (RSL) río San Lucas, (RPP) río Pansalic/Panchiguajá, (RPM) río Pampumay, (RVL) río Villalobos, (RPL) río Platanitos.

5.3 Composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatlán, se compone de ocho ordenes, estos son: Diptera (86.27%), Oligochaeta (8.44%), Mollusca (3.00%), Odonata (1.48%), Coleoptera (0.54%), Ephemeroptera (0.09%), Hemiptera (0.09%), y Trichoptera (0.09%). Las familias predominantes dentro del Orden Diptera fueron Psychodidae y Chironomidae (Figura 9), la familia Psychodidae pertenece a las moscas de humedad, organismos que se desarrollan en drenajes o tuberías donde hay mucha materia orgánica, no son muy comunes en cuerpos de agua natural, su abundancia es un indicio de descargas de aguas residuales (Roldán, 2003; Springer, 2010; Springer, Serrano, & Zepeda, 2010).

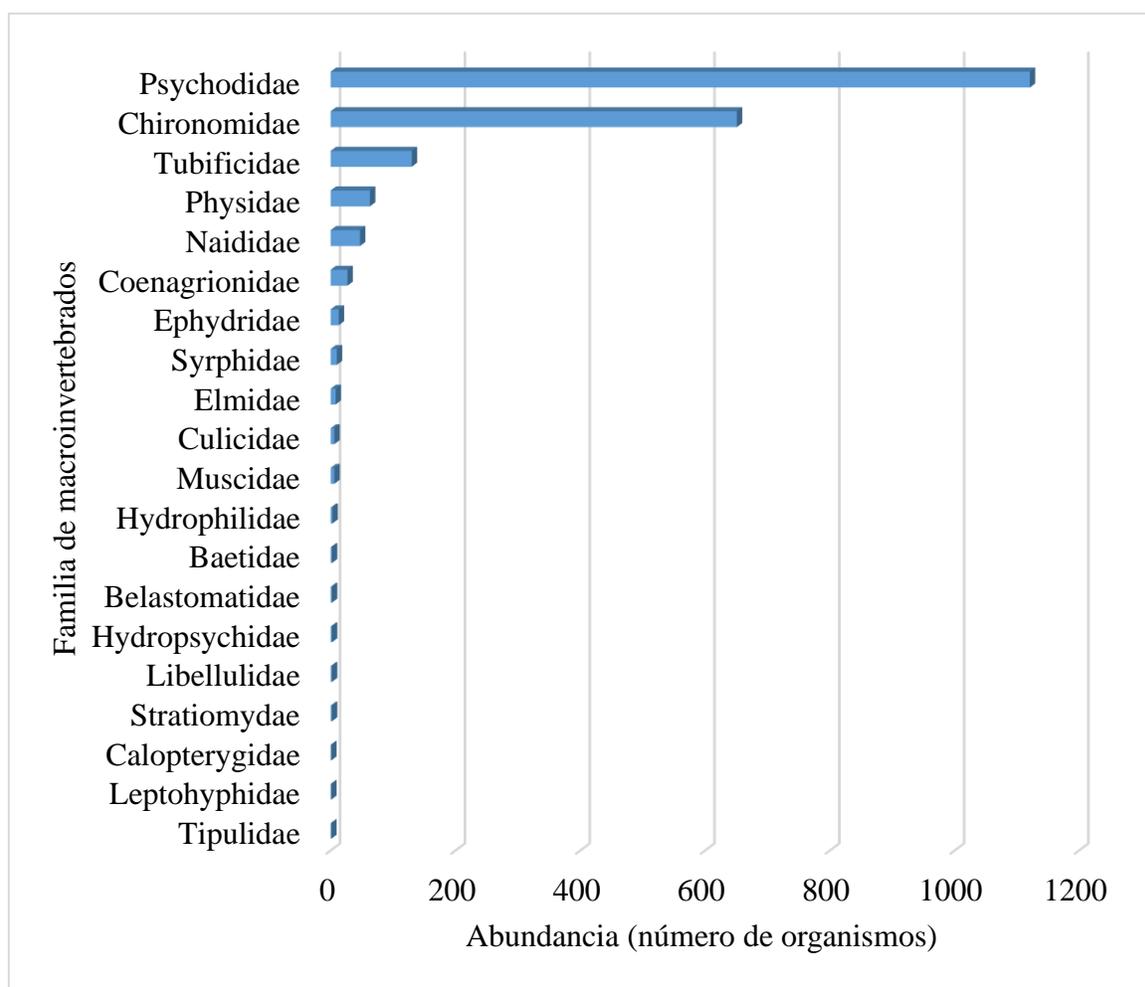


Figura 7. Composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos benthicos en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatlán.

Durante los meses de muestreo se recolectaron un total de 2,098 organismos, distribuidos en 20 familias en la cuenca del lago de Amatitlán, las familias más abundantes fueron Psychodidae con 1,121 individuos y Chironomidae con 651, ambas familias se encontraron en los siete ríos (Tabla 6). Esto indica que la cuenca se encuentra en un estado de eutrofización dado que el número de taxa es bajo, pero el número de individuos por cada una de ellas es alto, favorecido por la abundancia de nutrientes y la escasez de depredadores, por eso es frecuente encontrar en estas condiciones altas densidades de quironómidos, moluscos y tubificidos (Roldán, & Ramírez, 2008; Ruiz, Valdez, & Aguirre, 2016).

Tabla 6

Listado de riqueza y abundancia de macroinvertebrados recolectados en los meses de muestreo, en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán

Orden	Familia	RFZ	RPN	RSL	RPP	RPM	RVL	RPL	Total
Coleoptera	Elmidae	0	0	0	1	7	0	0	8
	Hydrophilidae	0	1	0	0	1	1	0	3
Diptera	Chironomidae	99	95	287	33	2	96	39	651
	Culicidae	0	3	2	1	0	0	0	6
	Ephydriidae	0	0	6	0	2	1	4	13
	Muscidae	0	0	6	0	0	0	0	6
	Psychodidae	135	226	158	138	2	97	365	1121
	Stratiomyidae	0	0	2	0	0	0	0	2
	Syrphidae	1	0	3	4	0	2	0	10
	Tipulidae	1	0	0	0	0	0	0	1
Ephemeroptera	Baetidae	0	0	0	0	2	0	0	2
	Leptohyphidae	0	0	0	0	1	0	0	1
Gastropoda	Physidae	0	0	0	0	63	0	0	63
Hemiptera	Belostomatidae	0	0	0	0	2	0	0	2
Odonata	Calopterygidae	0	0	0	0	1	0	0	1
	Coenagrionidae	0	0	0	0	27	0	0	27
	Libellulidae	0	0	0	0	2	0	0	2
Oligochaeta	Naididae	0	0	47	0	0	0	0	47
	Tubificidae	0	0	96	31	3	0	0	130
Trichoptera	Hydropsychidae	0	0	0	0	2	0	0	2
Total		236	325	607	208	117	197	408	2098

RFZ= río Frutal/Zacatal, RPN= río Pinula, RSL= río San Lucas, RPP= río Pansalic/Panchiguajá, RPM= río Pampumay, RVL= río Villalobos, RPL= río Platanitos.

Los índices de diversidad biológica ayudan a establecer la homogeneidad de un sitio, su abundancia y riqueza. Con base en los resultados el río Pampumay es el sitio con mayor diversidad como lo demuestran los índices de Shannon con 14 familias recolectadas, por consiguiente, es el río en el cual se espera encontrar más riqueza como indica el índice de Chao-1, pero también presentó menor abundancia con 117 individuos siendo Physidae la familia más abundante con 63 individuos. En el río Pampumay se recolectaron un total de tres filos, distribuidos en ocho ordenes de macoinvertebrados (Tabla 7).

El segundo río con mayor riqueza fue San Lucas con nueve familias encontradas. Según el índice de Simpson es el sitio más diverso encontrándose 607 individuos durante los meses de recolecta, siendo la familia Chironomidae la más abundante del sitio con 287, y la segunda familia dominante es Psychodidae con 158. Según el índice Berger Parker indica que tiene una dominancia entre sus taxas así como en los demás sitios muestreados, por las dos familias dominantes.

Los índices de Simpson, Shannon y Chao-1 catalogaron como el sitio menos diverso al río Platanitos con 3 familias recolectadas, sin embargo, presentó una abundancia de 408 organismos. En el índice de Berger Parker sobre sale este sitio debido a la dominancia que presentó la familia Psychodidae en este sitio, a pesar que en todos los ríos hay dominancia de alguna familia, los porcentajes son bajos en comparación con la familia Psychodidae en este sitio que representa un porcentaje del 89.43%, con 365 organismos en este sitio.

Shannon cataloga como más diverso al río Pampumay porque presenta una comunidad más equitativa, es decir que tiene mayor número de familias presentes y además sus abundancias son similares. En el índice de Simpson el río San Lucas es el más diverso porque la comunidad presentó una dominancia entre las familias encontradas, hay unas que tienen más abundancia que otras y toman mayor importancia. Sin embargo, los dos índices catalogan como el menos diverso al río Platanitos.

Tabla 7

Riqueza y abundancia de familias por sitio de muestreo

	RFZ	RPN	RSL	RPP	RPM	RVL	RPL
Taxa	4	4	9	6	14	5	3
Abundancia	236	325	607	208	117	197	408
Simpson	0.4968	0.4309	0.6774	0.512	0.6503	0.5199	0.1904
Shannon	0.7302	0.6732	1.349	0.9753	1.543	0.7994	0.3694
Berger-Parker	0.572	0.6954	0.4728	0.6635	0.5385	0.4924	0.8946
Chao-1	5	4	9	7	14.38	5.5	3

RFZ= río Frutal/Zacatal, RPN= río Pinula, RSL= río San Lucas, RPP= río Pansalic/Panchiguajá, RPM= río Pampumay, RVL= río Villalobos, RPL= río Platanitos.

5.4 Índices de calidad

5.4.1 Índice de calidad de agua de Brown (ICA)

Los ríos Platanitos y San Lucas presentaron (Figura 10) una calidad regular en el mes de agosto, por estos sitios hubo presencia de leves lluvias que aportaron a la dilución de aguas residuales lo cual ayudó que su calidad de agua aumentará. Ambos sitios son recolectores de este tipo de aguas, pero el río San Lucas tiende a presentar una mejor calidad debido a que se encuentra en la parte alta de la cuenca y tiene mayor cauce. El río Pansalic/Panchiguajá presentó una calidad de agua mala en los meses de junio y julio, pero sigue siendo el sitio que presenta mayor turbidez en sus aguas. La mejoría se dio porque el cauce del río aumento, diluyendo más los nutrientes presentes, pero en el mes de agosto hubo descargas industriales que tiñeron el río de color morado, bajando su calidad (Caho, & López, 2017; Campelo, Freitas, Da Silva, Oliveira, & Mendoza, 2017; Gupta, Pondey, & Jakir, 2017).

El río Pampumay es el único sitio que presentó una calidad buena durante los meses de muestreo, son aguas que tienen la cualidad de poseer una alta diversidad de la vida acuática debido a su alto nivel de oxígeno, el agua es cristalina y puede ser utilizada como fuente de agua potable, o para otros usos. Los demás ríos se encontraron en una categoría mala que pueden albergar una diversidad baja de vida acuática y que hay problemas graves de contaminación.

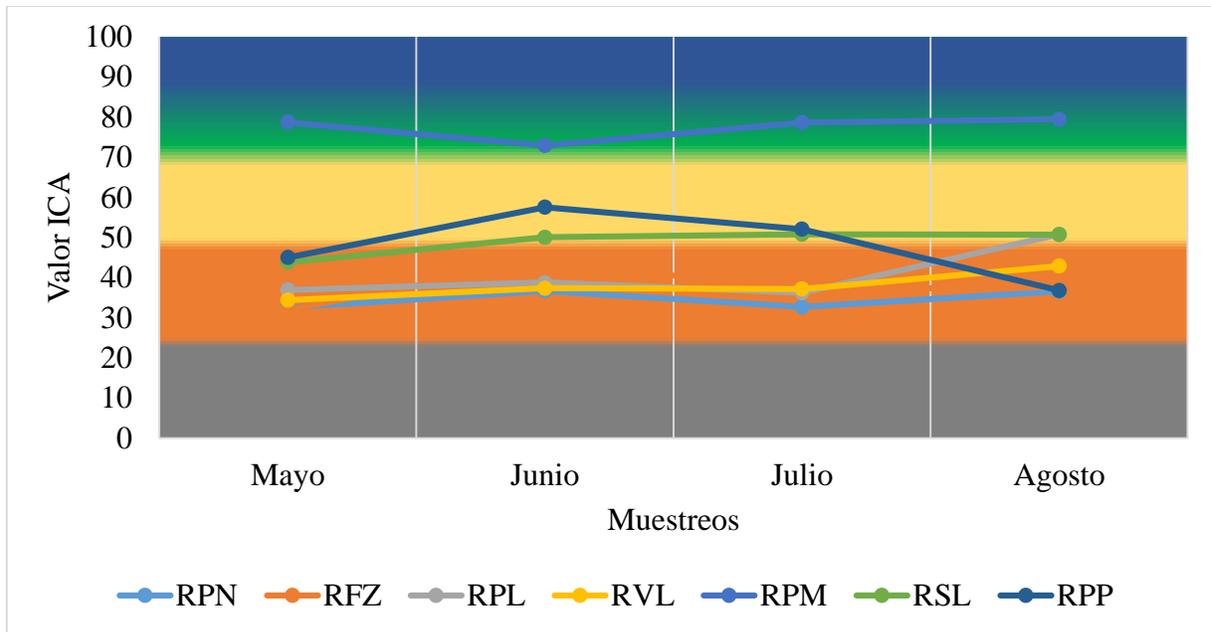


Figura 8. Índice de calidad de agua propuesto por Brown en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán. (RFZ) río Frutal/Zacatal, (RPN) río Pinula, (RSL) río San Lucas, (RPP) río Pansalic/Panchiguajá, (RPM) río Pampumay, (RVL) río Villalobos, (RPL) río Platanitos.

El mapa según el ICA de Brown, demuestra que toda la parte de la cuenca alta presenta una calidad mala en sus aguas, por lo tanto, sugiere que en sus aguas contienen una diversidad baja de vida acuática y están experimentando problemas de contaminación. La parte sur de la cuenca presenta una alta densidad demográfica por lo tanto es muy común que sus aguas atraviesen lugares muy urbanizados donde desechan aguas domesticas e industriales (Figura 13). El río Pampumay presentó una calidad buena en sus aguas, es uno de los tributarios del lago Amatitlán. Las condiciones fisicoquímicas indican que no hay ningún tipo de desechos de aguas residuales debido que donde atraviesa no hay poblados cerca, pero si hay cultivos, son aguas cristalinas que albergan muchas especies de macroinvertebrados pero con baja abundancia.

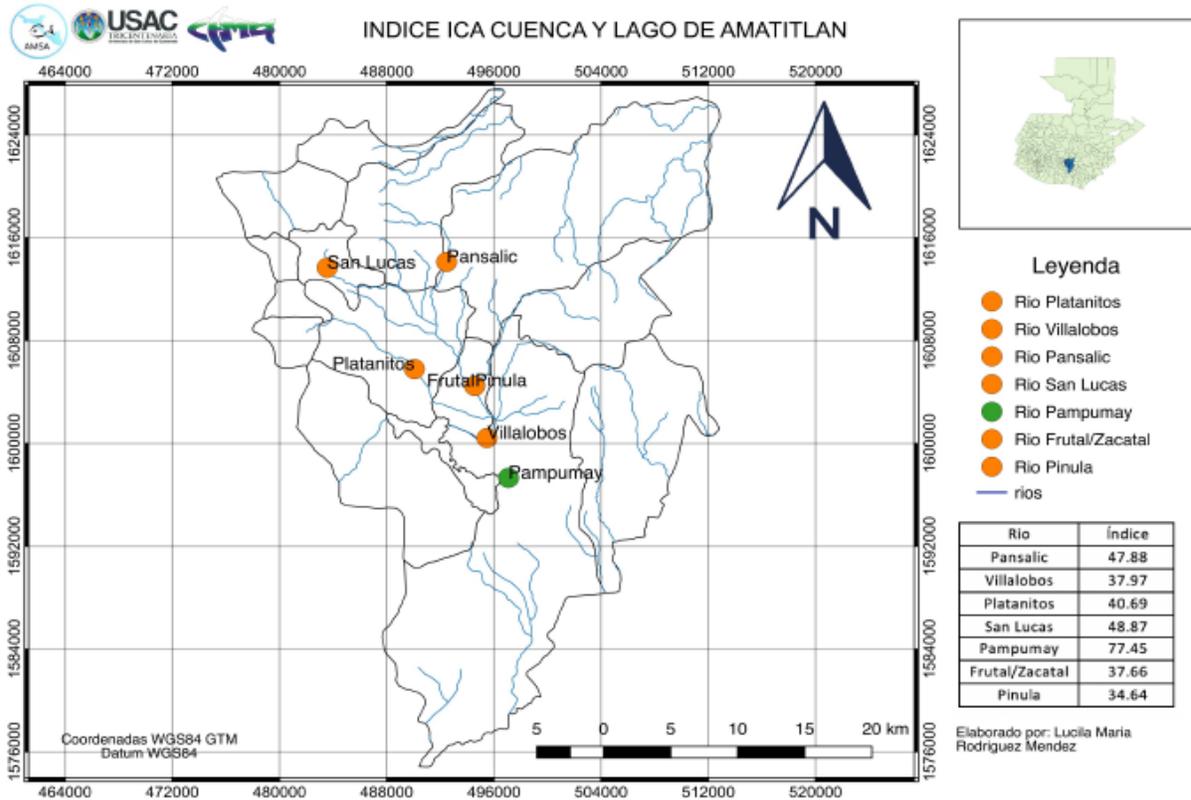


Figura 9. Mapa del índice de calidad de agua propuesto por Brown en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán

Comparando con el índice ICA de Brown, no hay mayor diferencia en su calidad de agua, sin embargo, con el río Pampumay la diferencia es bastante grande (Figura 14). Esto se debe que el tipo de contaminación que presenta no es de origen de descargas, se debe a perturbaciones antropogénicas, el río es desviado para riego de cultivos. Los macroinvertebrados son organismos muy susceptibles a cambios físicos y químicos que presenta el entorno donde habitan, la más mínima variación su fauna cambia. Debido a eso los índices de macroinvertebrados lo catalogan como mala calidad debido a actividades de desvío del río para fines de agrícolas (Morelli, & Verdi, 2014; Moya, Domínguez, Goittia, & Thierry, 2016; Munné, & Prat, 2011; Quiroz, Izquierdo, & Méndez, 2017; Rendón, Artunduaga, Ramírez, Alveiro, & Leiva, 2011; Rojas, & Huamantínco, 2017; Roldán, 2016).

5.4.2 Índice Biológico a Nivel de Familias (IBF-SV 2010)

Los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatlán se encuentran en una categoría entre 7.5 a 8.5, indicando que hay una contaminación orgánica severa en los siete ríos. Esta contaminación se mantuvo durante los meses de mayo a agosto. Este comportamiento de los ríos demuestra que las familias presentes son indicadores de mala calidad de agua, el orden que predomina es Diptera, que en su mayoría son tolerantes a componentes de contaminación.

Los ríos Pinula, Frutal/Zacatal, y Villalobos presentaron una categoría mala en calidad de agua, tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia. Comparando con los índices de diversidad biológica, son los sitios menos diversos de la cuenca, pero las familias presentes son muy abundantes indicadores de mala calidad. Tienen en común que reciben tanto desechos industriales y agroquímicos, como aguas residuales; a pesar que tienen plantas de tratamiento, los índices indican que no están trabajando bien.

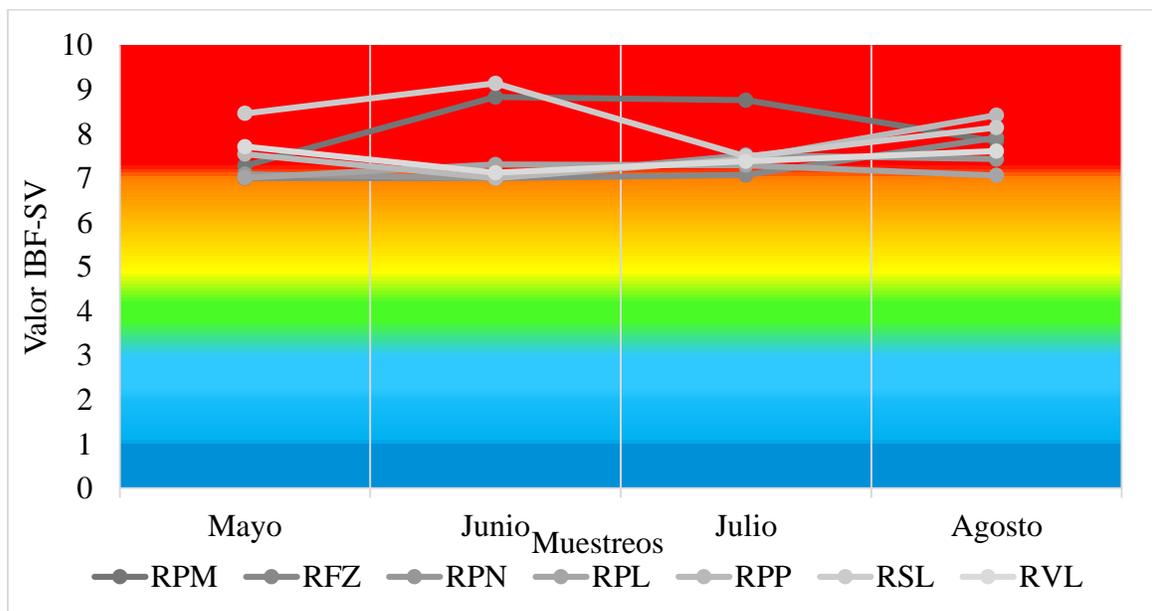


Figura 10. Índice IBF-SV de macroinvertebrados acuáticos en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatlán. (RFZ) río Frutal/Zacatal, (RPN) río Pinula, (RSL) río San Lucas, (RPP) río Pansalic/Panchiguajá, (RPM) río Pampumay, (RVL) río Villalobos, (RPL) río Platanitos.

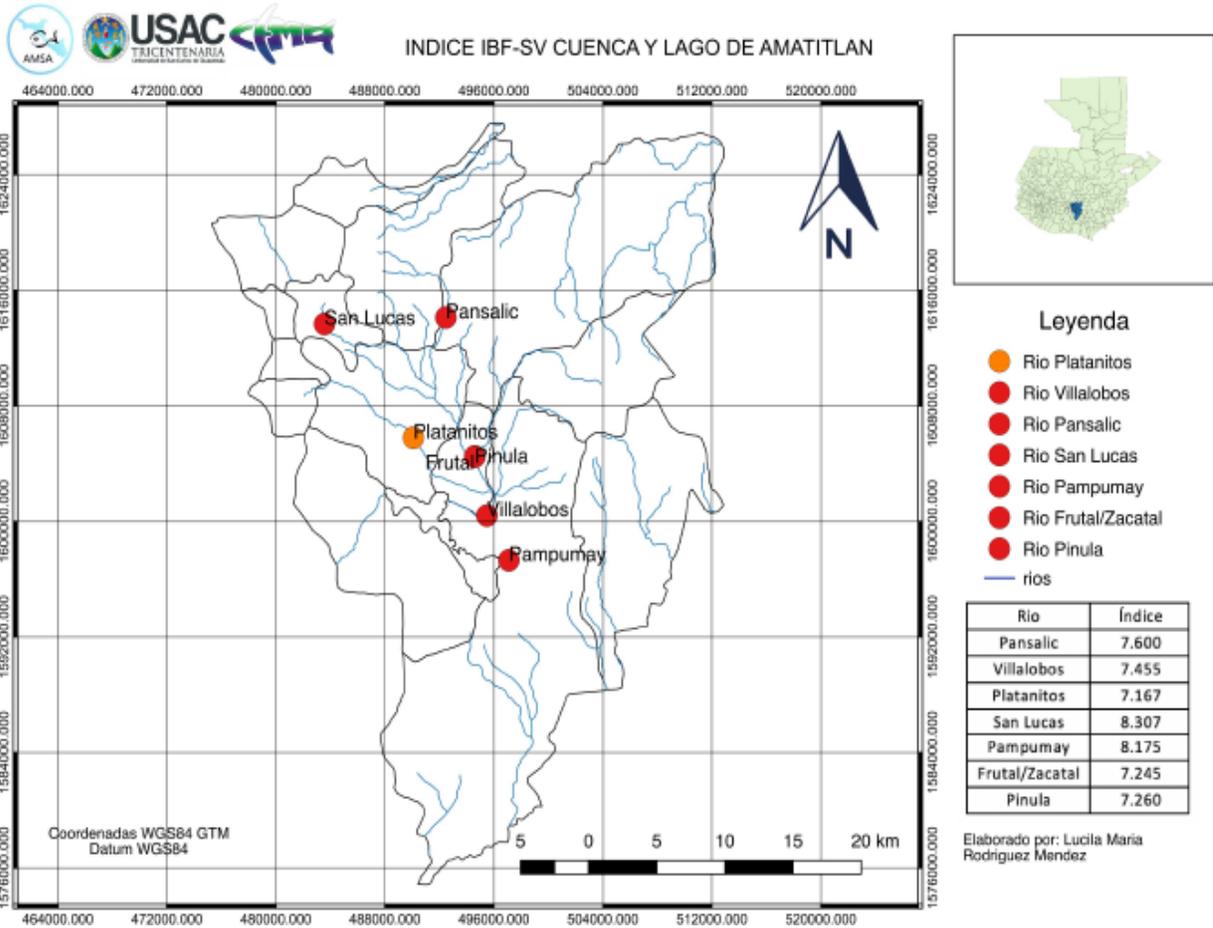


Figura 11. Mapa del índice biótico IBF-SV en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán

Los macroinvertebrados acuáticos indican el incremento de la contaminación de cuerpos de agua, los ecosistemas con buena calidad presentan una alta diversidad de especies, pero un bajo número de individuos por cada una de ellas, como lo es en el río Pampumay. En el mapa se observa (Figura 15) que es muy similar al de ICA de Brown, los ríos ubicados en la parte sur de la cuenca son los más contaminados, los ecosistemas con mala calidad de agua presentan una baja diversidad, pero el número de individuos por cada una de ellas es alto, favorecido por la abundancia de nutrientes y la escasez de depredadores, como en los demás ríos presentes en la cuenca (Ruiz, Valdez, & Aguirre, 2016; Salam, & Salwan, 2017; Sermeño, et al., 2010; Singh, Basant, Malik, & Jain, 2016).

En general la población de macroinvertebrados no varía al igual que su categoría en los principales ríos tributarios, con base a este índice biótico. No hay variación en el tiempo, se mantiene entre las categorías de mala calidad no importando la época en la que se encuentra, son ríos que presentan una alta concentración de nutrientes, donde reciben una alta cantidad de desechos domésticos o industriales. Hay estudios que establecen que el valor de este índice es mejor en áreas boscosas comparado con áreas urbanizadas o dedicadas al cultivo, pero se han encontrado valores promedio de IBF en los principales afluentes de la cuenca del lago de Atitlán en el río Quiscab que revelan la contaminación orgánica sustancial probable y en río San Francisco. Este comportamiento se observó en algunos sitios de muestreo como: San Lucas y Pampumay, que están lejos de poblados y áreas boscosas pero su valor IBF demostró que hay influencia de actividades antropogénicas que alteran la calidad de los ríos.

5.4.3 Biological Monitoring Working Party (BMWP-CR)

El río Pampumay es el único que presentó una leve mejora en su calidad de agua, debido a la alta diversidad de macroinvertebrados encontrados, este índice se basa por la presencia de familias y no por su abundancia. Sin embargo, todos los ríos, incluyendo el Pampumay, se encuentran con aguas de calidad muy mala y extremadamente contaminadas según este índice (Figura 12).

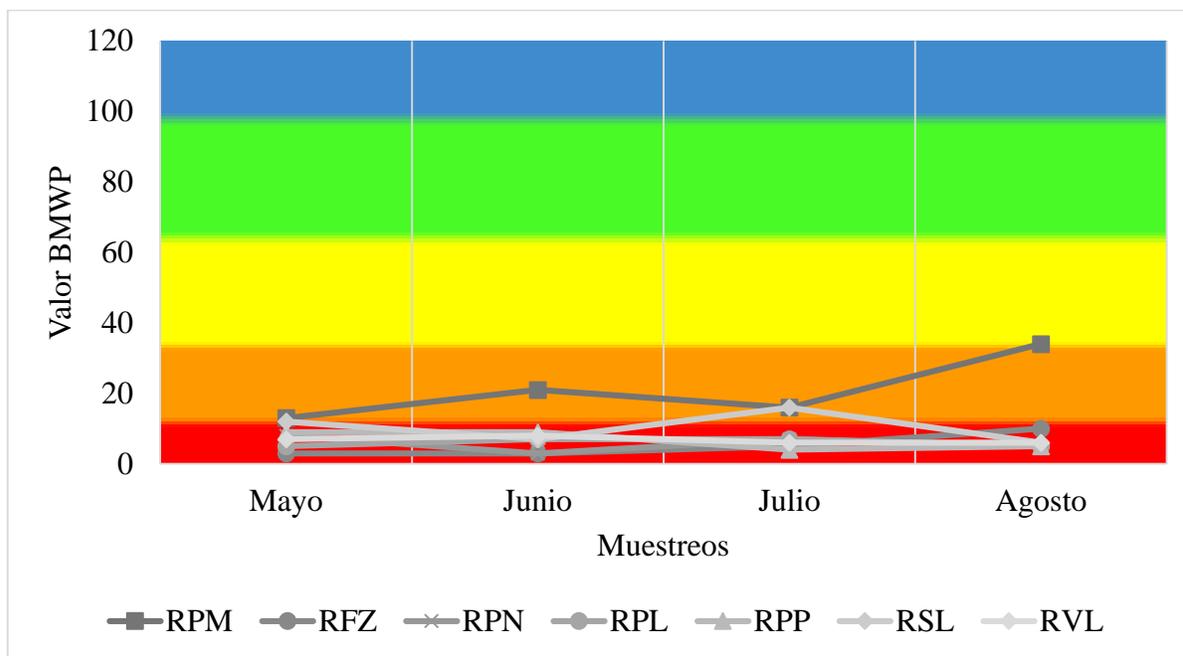


Figura 12. Índice BMWP-CR de macroinvertebrados acuáticos en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán. (RFZ) río Frutal/Zacatal, (RPN) río Pinula, (RSL) río San Lucas, (RPP) río Pansalic/Panchiguajá, (RPM) río Pampumay, (RVL) río Villalobos, (RPL) río Platanitos.

Los índices BMWP de Costa Rica y el IBF-SV, catalogan a los ríos como aguas de calidad muy mala y extremadamente contaminadas por nutrientes. A excepción del río Pampumay, los demás ríos se mantuvieron con muy mala calidad, el aumento demográfico y el mal manejo de recursos naturales provocan el deterioro de la calidad en los ríos, la alta abundancia y su baja riqueza es un indicador de eso (Sermeño, et al., 2010; Vázquez, et al., 2006).

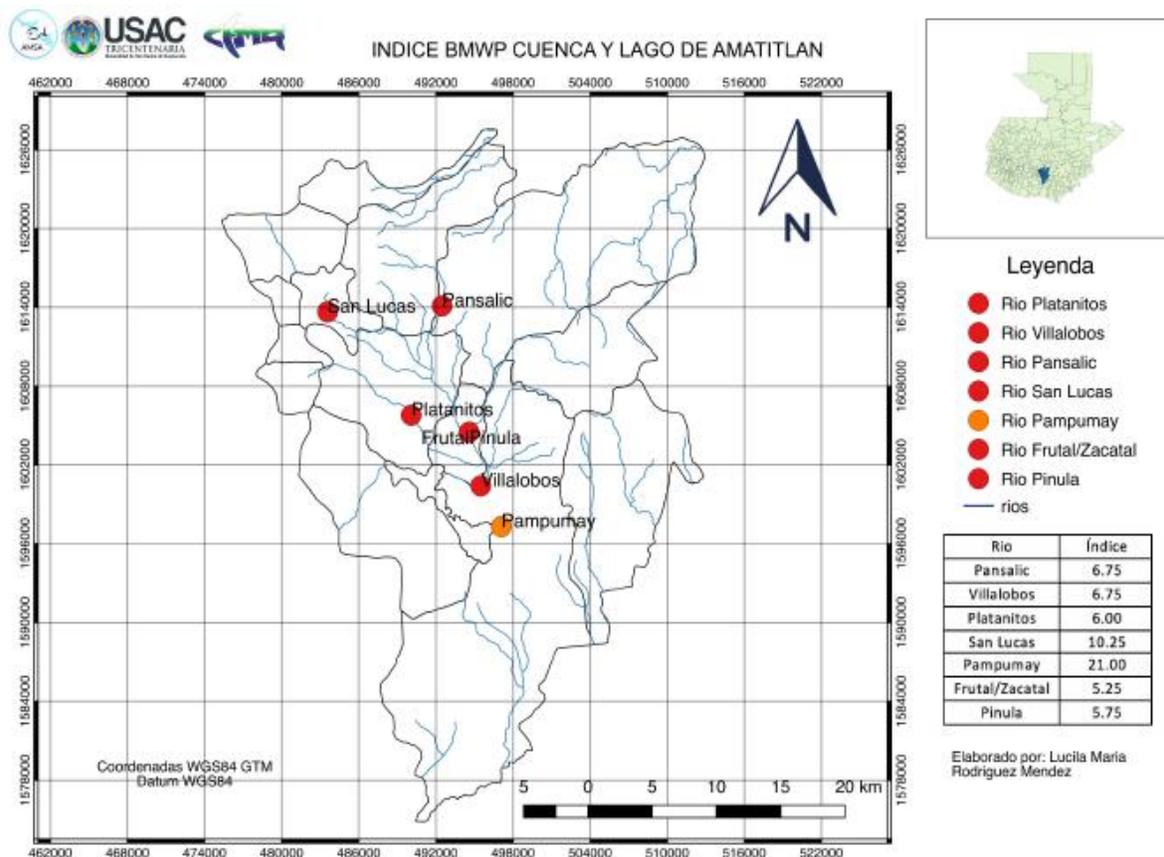


Figura 13. Mapa del índice biótico BMWP-CR en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán.

Comparando con el ICA de Brown, las condiciones muestran un estado muy pobre y pobre calidad en sus aguas. El comportamiento de la cuenca indica una calidad muy pobre en las aguas en las partes altas de la cuenca. Los tres índices demuestran un gran deterioro en sus recursos naturales, la alta urbanización y el mal manejo de recursos naturales provocan la degradación en la calidad de agua en la cuenca, esto simboliza un mayor costo de inversión para potabilizarlas y que sean utilizadas por las personas que la habitan. El río Pampumay presentó una mejor calidad en comparación a los demás ríos, sin embargo, hay épocas donde su calidad es muy pobre, pero el tipo de contaminación que presenta se debe a actividades antropogénicas, como: Desvío de ríos y presencia de cultivos cercanos (Bastardo, & Sánchez, 2017; Barbour, et al., 1999; Benetti, Pérez, & Garrido, 2011; Kumarie, Tripathi, & Pathec, 2013).

El primer eje está correlacionado con las variables de (Figura 14): Conductividad, DBO, DQO, fosfatos, amonio, y número más probable (análisis de coliformes fecales). El resto de las variables no evidenció una correlación significativa. Dichas variables se encuentran en altas proporciones en los sitios: Pansalic/Panchiguajá, Pinula, Frutal/Zacatal, Platanitos, San Lucas y Villalobos; y las familias que prefieren dichas condiciones son: Psychodidae, Muscidae y Stratiomyidae.

Tabla 8

Correlación de la abundancia de las familias de macroinvertebrados y los parámetros fisicoquímicos del agua

Familia	Variable fisicoquímica	r	p
Syrphidae	Potencial de hidrógeno	-0.93	0.0095
Tubificidae	Sólidos disueltos totales	-0.79	0.05
Tubificidae	Conductividad	-0.79	0.05
Tubificidae	Nitrato	0.91	0.03
Psychodidae	Demanda bioquímica de oxígeno	-0.61	0.04
Culicidae	Número más probable	0.87	0.028

Con un análisis de Spearman se evidenció una fuerte correlación positiva entre los parámetros fisicoquímicos como el nitrato y el número más probable (Tabla 8). Los sitios donde hay más nitritos y gran cantidad de bacterias coliformes, están presentes las familias: Naididae, Tipulidae, Tubificidae, Chironomidae, Syrphidae y Culicidae; se encontraron en abundancia en los ríos: Frutal/Zacatal, San Lucas, Villalobos, Platanitos y Pinula. Estos sitios son los más contaminados por aguas residuales que entran sin ningún tipo de tratamiento. Pampumay fue el río que presentó dominancia por taxa sensibles a efectos de perturbación, además fue el sitio que menos cantidad de nutrientes presentó y mayor oxígeno tuvo, por lo tanto propicio que su riqueza fuera mayor que el resto de los demás sitios, encontrándose gran variedad de taxa, estas fueron: Elmidae, Hydrophilidae, Physidae, Baetidae, Leptohiphidae, Hydropsychidae, Libellulidae, Coenagrionidae, Calopterygidae, y Belostomatidae.

6. Conclusiones

1. Las altas concentraciones de nutrientes y coliformes totales presentes en el agua de toda la cuenca del lago de Amatitlán, son los principales factores que degradan el ecosistema hidrológico.
2. El orden predominante en los principales ríos tributarios de la cuenca es Diptera (86.27%) siendo las familias más abundantes: Psychodidae con 1,121 y Chironomidae con 651. El río con mayor diversidad y menor abundancia fue Pampumay con 14 familias recolectadas.
3. Tanto los índices bióticos IBF-SV y BMWP-CR, como el ICA de Brown clasificaron la calidad de agua de la cuenca como muy contaminada, debido a una alta concentración de materia orgánica. A excepción de los demás sitios muestreados, la contaminación en Pampumay se debe a desvío de su cauce para fines de riego agrícola, según indicaron los índices bióticos.
4. Los puntos de muestreo que presentaron mayor influencia de las variables fisicoquímicas y presencia de familias de macroinvertebrados que inducen la degradación de los ecosistemas hidrológicos se encuentran en la parte alta de la cuenca del lago de Amatitlán, donde hay más urbanización.

7. Recomendaciones

1. Desarrollar un índice biótico a nivel de familia de macroinvertebrados bénticos acuáticos para determinar la calidad del agua en las partes alta, media y baja de los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán para calcular con más precisión la calidad del agua. Para próximos estudios utilizar índices de contaminación que clasifiquen el estado de calidad del agua y con base a los resultados obtenidos que uso se le puede dar al agua dada las condiciones de la cuenca.
2. Para un mejor manejo de los recursos hídricos de la cuenca se debe crear una Ley de Agua en la cual las denuncias sobre hechos ilícitos de descargas a los ríos no queden impunes y con fuertes cargos sobre las personas causantes del deterioro de la calidad del agua en los ríos, y exigir a las municipalidades que le den mantenimiento a las plantas de tratamiento para que funcionen mejor.
3. Concientizar a la población que habita en la cuenca del lago de Amatitlán, sobre el manejo adecuado de desechos sólidos para evitar la contaminación en los cuerpos de agua, divulgando los resultados obtenidos en la presente investigación para que las autoridades a cargo tomen las medidas necesarias.

8. Referencias bibliográficas

- Acevedo, R. (2009). *Bioindicadores de la calidad del agua en la cuenca del río Tolantongo, Hiddalgo*. Maestría en Manejo Ambiental. México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Aguilar, B. (2014). *Variación de los macroinvertebrados en función a la calidad del agua, río Molino, Mixco, Guatemala, durante la época lluviosa de los años 2010-2012*. Universidad de San Carlos de Guatemala [USAC].
- Alvarez, R., Lanza, G. de la., Contreras, A., & Gonzalez, I. (2013). Insectos acuáticos indicador del agua en México: Caso de estudio, ríos Copalita, Zimantor y Coyula, Oxaca. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(1), 384-383.
- AMSA, & Presidencia de la República. (2002). *Boletín Informativo*. Guatemala: AMSA.
- Arce, O. (2006). *Indicadores biológicos de calidad del agua*. Maestría en Ingeniería Ambiental. Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
- Arriola, A. (2012). *Índices de calidad de agua en el río Pinula, cuenca del lago de Amatitlán*. Guatemala: USAC.
- Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán [AMSA]. (2015). *Informe anual de la calidad de la cuenca y lago de Amatitlán*. Guatemala: Autor.
- Azhar, S., Aris, A., Soff, M., Firuz, M., & Jvahir, H. (2015). Classification of river water quality using multivariate analysis. *Procedia Enviromental Sciences*, 26(30), 79-84.
- Babbar, R. (2017). Predicting river water quality index using data mining technique. *Enviromental Earth Sciencie*, 76(14), 1-15.
- Badii, M., Castillo, K., Cortez, A., Wong, P. (2016). Análisis de correlación canónica e investigación científica. *InnOvaciOnes de NegOciOs*, 4 (3), 405-422.
- Baird, R., Eaton, A., & Rice, E. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. (23rd. ed.). Wahington: American Public Health Association.
- Balzarini, M., & González, L. (2008). *Manual del usuario de InfoStat*. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Barakat, A., Baghdadi, M., Reis, J., Aghezzaf, B., & Slassi, M. (2016). Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rbia river using multivariate statistical tcheniques. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(1), 284-292.

- Barbosa, F., Callisto, M., & Galdean, N. (2001). The diversity of benthic macroinvertebrates as an indicator of water quality and ecosystem health: A case study for Brazil. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 4(1), 51-59.
- Barbour, M., et al. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish*. Washington: Environmental Protection Agency [EPA], & Office of Water.
- Bastardo, R., & Sánchez, A. (2017). Estado del conocimiento de los macroinvertebrados acuáticos de la isla La Española. *Revista Actual Biodiversity*, 39(107), 1-22.
- Benetti, C., Pérez, A., & Garrido, J. (2011). Macroinvertebrates as indicators of water quality in running waters: 10 years of research in rivers with different degrees of anthropogenic impacts. *Water Treatment and Reuse*, 31(4), 1-29.
- Bonada, N., Prat, N., Vincent, H., & Resh, S. (2005). Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annual Reviews*, 5(1), 495-523.
- Caho, A., & López, E. (2017). Determinación del índice de calidad de agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. *Revista Producción + Limpia*, 12 (2), 35-49.
- Campelo, A., Freitas, K., Da Silva, I., Oliveira, M. de., & Mendoza, R. (2017). Quality index of the Surface water of Amazonian rivers in industrial areas in Paramá, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 123 (1), 156-164.
- Carvacho, C. (2012). *Estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari en Chile*. Licenciatura en Biología. España: Universidad de Barcelona.
- Custodio, M., & Chanamé, F. (2016). Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junín-Perú. *Revista Scientia Agropecuaria*, 7(1), 33-44.
- Effend, H., & Romanto, Y. (2015). Water quality status of Ciambulawung river, Bonten Province, base don pollution index and NSF-WQI. *Procedia Enviromental Sciencies*, 24(1), 228-237.
- Falah, F., & Haghizadeh, A. (2017). Hidrochemical evaluated of river water quality, a case stydy: Horroud river. *Applied Water Sciencie*, 7(7), 41-47.

- Fuentes, S. (2006). *Informe final del Ejercicio Profesional Supervisado realizado en la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán*. Guatemala: USAC, y Centro de Estudios del Mar y Acuicultura [CEMA].
- García, H. (2002). *Cuantificación de la calidad del agua del río Villalobos en época seca y lluviosa en un período de 24 horas dos veces al mes en un punto previo a la entrada al lago Amatitlán*. Master Scientificae en Recursos Hidráulicos opción Calidad de Agua. Guatemala: USAC.
- García, J., Hernández, H., & Suchini, J. (2013). *Análisis de la calidad del agua de los afluentes de la cuenca alta del río Lempa y residuos de plaguicidas en la producción hortícola, región Trifinio 2010-2012*. Ocotepeque, Honduras: Mancomunidad Trinacional Fronteriza.
- Geoportal AMSA. (2016). *Diferentes mapas de la cuenca del lago de Amatitlán* [en línea]. Recuperado marzo 4, 2018 de <http://siaa.AMSA.gob.gt/Visor/>
- González, L. (2013). *Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación* [en línea]. Recuperado noviembre 13, 2018, de <file:///C:/Users/Admin/Downloads/334-482-1-PB.pdf>
- Gupta, N., Pondey, P., & Jakir, H. (2017). Effect of physicochemical and biological parameters the quality river water Narmada Madhya Pradesh, India. *Water Sciencie*, 31(1), 11-23.
- Hampson, D., Forring, S., Rigby, D., & Batemsa, I. (2017). River water quality. *Who Cares, How Much and Why*, 9(8), 621-629.
- Herrera, A. (2014). *Causas del deterioro de la calidad del agua del río Pinula y evaluación de efectos en el agua de pozos cercanos, y la respuesta del fitobentos y macroinvertebrados durante la época seca del año 2012*. Maestría en Ciencias del Agua, Managua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Ibañez, S. (2015). *Caracterización ambiental de la microcuenca del río Platanitos de la subcuenca del río Villalobos: Diagnóstico y servicios realizados en la Unidad de Desechos Sólidos de la Municipalidad de Villa Nueva, Guatemala, C.A*. Licenciatura en Gestión Ambiental, Guatemala: USAC.
- Kumarie, M., Tripathi, S., & Pathec, V. (2013). Chemometric characterization of river water quality. *Enviromental Monitoring and Assesment*, 185(4), 3081-3092.

- Ladrera, R., Rieradevall, M., & Prat, N. (2013). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: Una herramienta didáctica. *Revista de Didáctica 11, 13* (1), 1-19.
- Lanza, G. de la., Hernandez, J., & Perez, L. (2011). *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores)*. México: Plaza y Valdéz Editora.
- Lasso, A. (2009). Determinación de nitrito en agua por espectrofotometría. *Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales, 4* (2), 9.
- Leandro, H., Coto, J., & Salgado, V. (2010). Calidad del agua de los ríos de la macrocuenca del río Vivilla. *Revista Uniciencia, 24* (1), 69-74.
- Morelli, E., & Verdi, A. (2014). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay. *Revista de Biodiversidad, 85*(10), 1160-1170.
- Moya, N., Domínguez, E., Goittia, E., & Thierry, O. (2016). Desarrollo de un índice multimétrico basado en macroinvertebrados acuáticos para evaluar la integridad biológica en ríos de los valles interandinos de Bolivia. *Asociación Argentina de Ecología, 21*(1), 135-147.
- Muller, B., Berg, M., Zhi, Y., Feng, Z., Wang, O., & Pfluger, A. (2008). How polluted is the Yantzo river? Water quality downstream from threee gorges Dam. *Sciencie of the Total Enviroment, 402*(3), 232-247.
- Munné, A., & Prat, N. (2011). Effects of mediterranean climate anual variability on stream biological quality assessment using macroinvertebrate communities. *Revista Scielo 11* (1), 651-662.
- Norma COGUANOR. (2001). *Norma 29 001, agua potable y sus especificaciones* [en línea]. Recuperado noviembre 13, 2018, de http://www.ada2.org/sala-prensa/publicaciones/doc_view/28-coguanor-29001-99
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. (s.f.). *Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas* [en línea]. Recuperado marzo 20, 2018, de <http://www.ub.edu/fem/docs/caps/2009%20MacroIndLatinAmcompag0908.pdf>
- Quiroz, L., Izquierdo, E., & Méndez, C. (2017). Aplicación del índice de calidad del agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica Amlodal, 38*(3), 41-51.

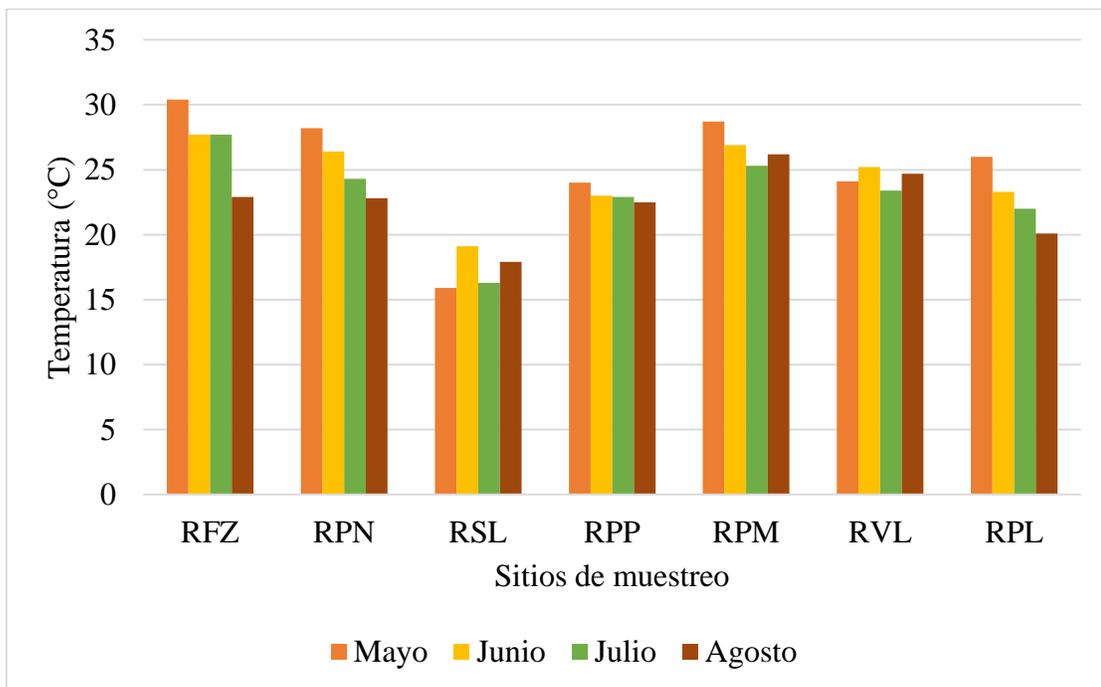
- Rendón, S., Artunduaga, F., Ramírez, R., Alveiro, J., & Leiva, E. (2011). Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del suelo en cultivos de Mora, Pasto y Aguacate. *Revista Scielo*, 64(1), 5793-5802.
- Reyes, F. (2013). Macroinvertebrados acuáticos de los cuerpos lénticos de la Región Maya, Guatemala. *Revista científica DIGI*, 23(1), 1-10.
- Rojas, D., & Huamantínco, A. (2017). Desarrollo de una herramienta de vigilancia ambiental ciudadana basada en macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del Jequetepeque, Cajamarca, Perú. *Revista Scielo*, 16(2), 1-10.
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP*. Medellín, Colombia: Col. Ciencia y Tecnología, y Ed. Universidad de Antioquia.
- Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua: Cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista Scielo*, 40(155), 254-274.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. (2a. ed.). Antioquia, Colombia: Editorial Universitaria de Antioquia.
- Rosenberg, D., & Resh, V. (1993). *Freshwater biomonitoring and benthic macro invertebrates*. New York: Chapman & Hall Inc.
- Ruiz, J., Valdez, F., & Aguirre, N. (2016). Modelación especial de la calidad de agua en el río Tapartó, municipio de Andes, Antioquia, Colombia. *Revista Muyis*, 6(1), 16-27.
- Salam, H., & Salwan, A. (2017). Water quality index for Al Gharraf river, Southern Iraq. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 43(1), 117-122.
- Segnini, S., et al. (2009). Evaluación de la calidad de agua de ríos en los andes venezolanos usando el índice biótico BMWP. Caracas, Venezuela: Ediciones Astro Data.
- Sermeño, J., et al. (2010). *Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: Índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010)*. San Salvador, El Salvador: Ciudad Universitaria.
- Sharma, K., & Chowdhary, S. (2011). Macroinvertebrate assemblages as biological indicators of pollution in a Central Himalayan river, Tawi. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 3(5), 167-174.
- Singh, K., Basant, A., Malik, A., & Jain, G. (2016). Artificial neural network modeling of the river water quality. *Ecological Modelling*, 220(6), 888-893.

- Stein, H., *et al.* (2008). Comparison of two sampling methods for biomonitoring using macroinvertebrates, Costa Rica. *Revista Scielo*, 34 (1), 267-275.
- Vázquez, G., *et al.* (2006). *Bioindicadores como herramienta para determinar la calidad del agua* [en línea]. Recuperado marzo 10, 2018, de <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n60ne/Bio-agua.pdf>
- Xiaoyun, F., Baoshan, C., Hui, Z., Zhiminy, Z., & Honggang, Z. (2010). Assessment of river water quality in Pearl river Delta using multivariate statistical techniques. *Procedia Enviromental Sciencies*, 2(1), 1220-1234.
- Yépez, A., *et al.* (2017). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador. *Revista Environmental Sciences*, 10(1), 27-34.
- Zeinalzadeh, K., & Rezaei, E. (2017). Determining spacial and temporal changes of Surface water quality using principal component analysis. *Journal of Hydrology Regional Studios*, 13(1), 1-10.
- Zelada, J. (2012). *Análisis de la riqueza, composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en los ríos Pampumay y Pansalic/Panchiguajá*, Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán. Guatemala: USAC, y Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

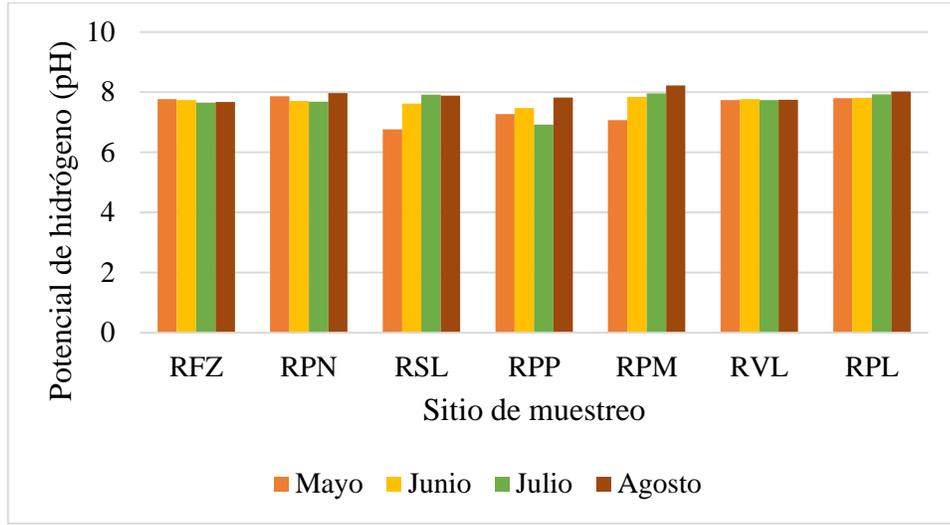
9. Anexo

Río	Coordenadas
Pampumay	N 14°26'43.5'' W 090°31'37.3''
Pinula	N 14°30'37.1'' W 090°33'0.9''
Platanitos	N 14°31'19.4'' W 090°35'31.4''
Frutal/Zacatal	N 14°30'36.5'' W 090°33'01.4''
Pansalic/Panchiguajá	N 14°35'50.4'' W 090°34'11.7''
San Lucas	N 14°35'35.7'' W 090°39'09.5''
Villalobos	N 14°28'24.4'' W 090°32'31.0''

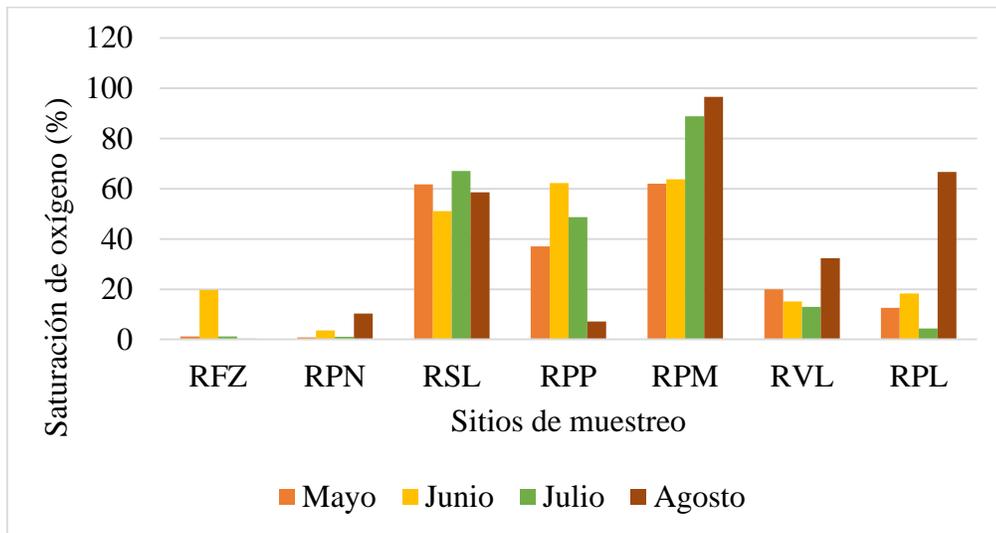
Anexo 1. Coordenadas de los puntos de muestreo en cada río



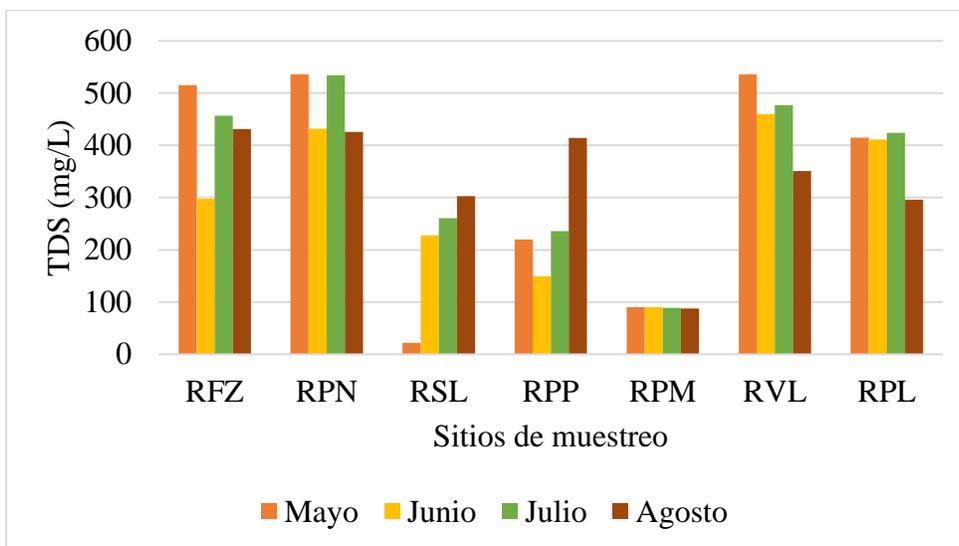
Anexo 2. Temperatura obtenida en los meses de muestreo en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán. (RFZ) río Frutal/Zacatal, (RPN) río Pinula, (RSL) río San Lucas, (RPP) río Pansalic/Panchiguajá, (RPM) río Pampumay, (RVL) río Villalobos, (RPL) río Platanitos



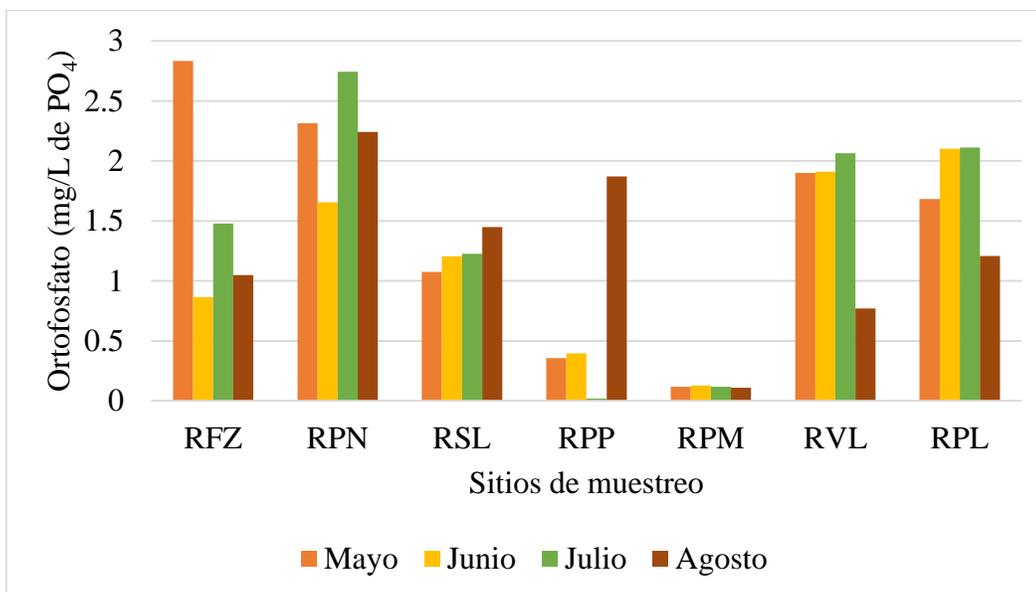
Anexo 3. Potencial de hidrógeno obtenido en los meses de muestreo en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán. (RFZ) río Frutal/Zacatal, (RPN) río Pinula, (RSL) río San Lucas, (RPP) río Pansalic/Panchiguajá, (RPM) río Pampumay, (RVL) río Villalobos, (RPL) río Platanitos



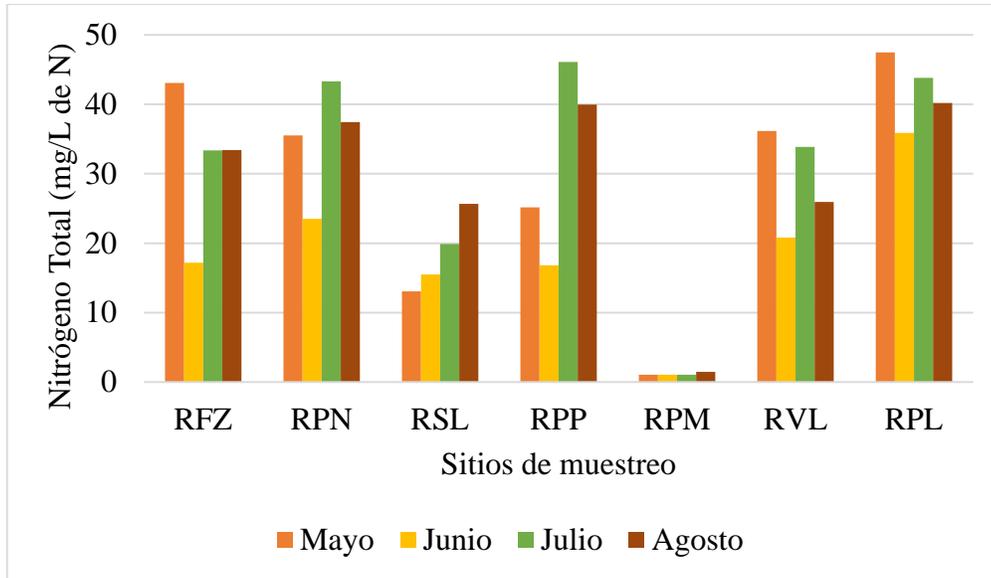
Anexo 4. Porcentaje de saturación de oxígeno obtenido en los meses de muestreo en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán. (RFZ) río Frutal/Zacatal, (RPN) río Pinula, (RSL) río San Lucas, (RPP) río Pansalic/Panchiguajá, (RPM) río Pampumay, (RVL) río Villalobos, (RPL) río Platanitos



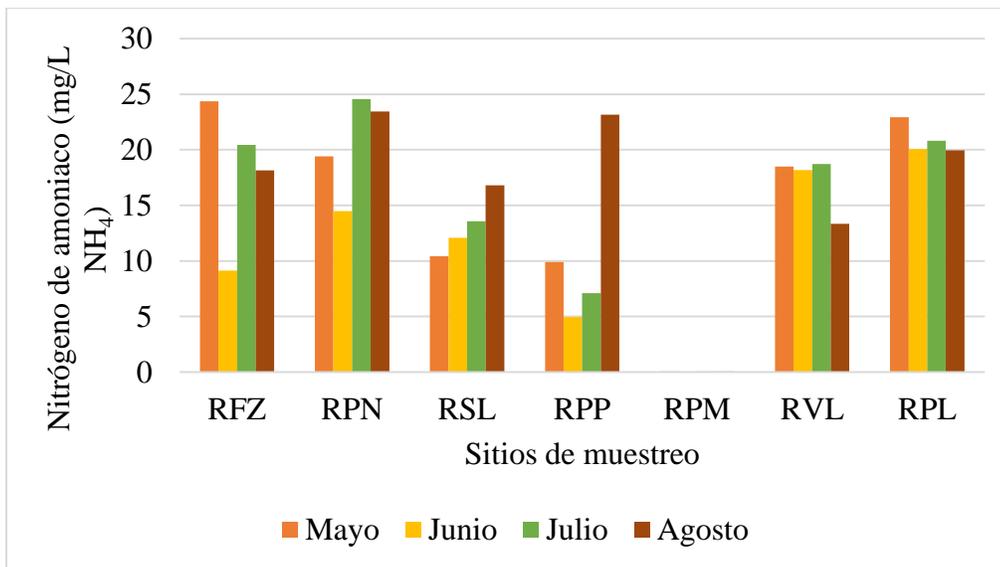
Anexo 5. Sólidos totales disueltos obtenidos en los meses de muestreo en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán. (RFZ) río Frutal/Zacatal, (RPN) río Pinula, (RSL) río San Lucas, (RPP) río Pansalic/Panchiguajá, (RPM) río Pampumay, (RVL) río Villalobos, (RPL) río Platanitos



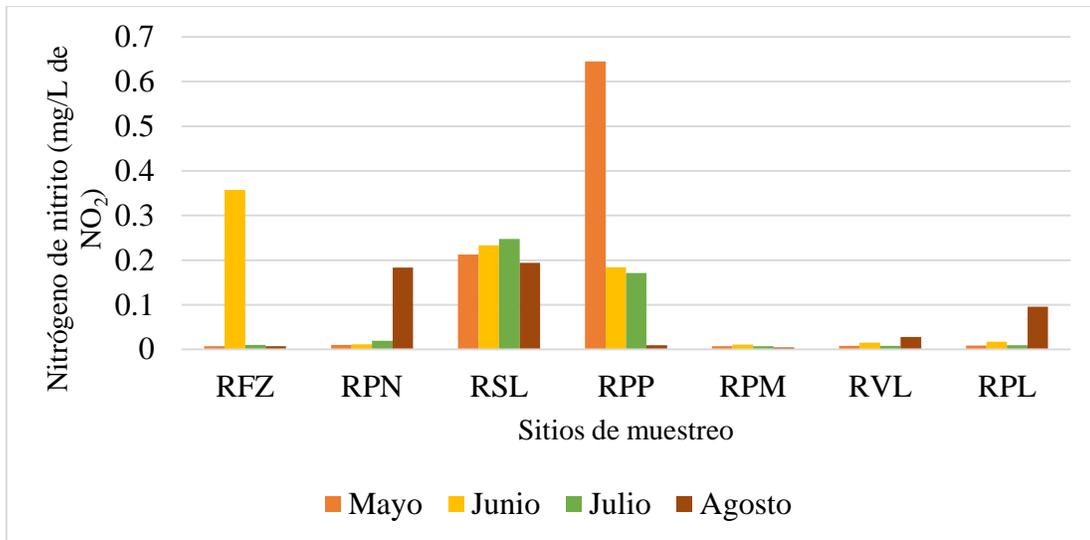
Anexo 6. Ortofosfato obtenido en los meses de muestreo en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán. (RFZ) río Frutal/Zacatal, (RPN) río Pinula, (RSL) río San Lucas, (RPP) río Pansalic/Panchiguajá, (RPM) río Pampumay, (RVL) río Villalobos, (RPL) río Platanitos



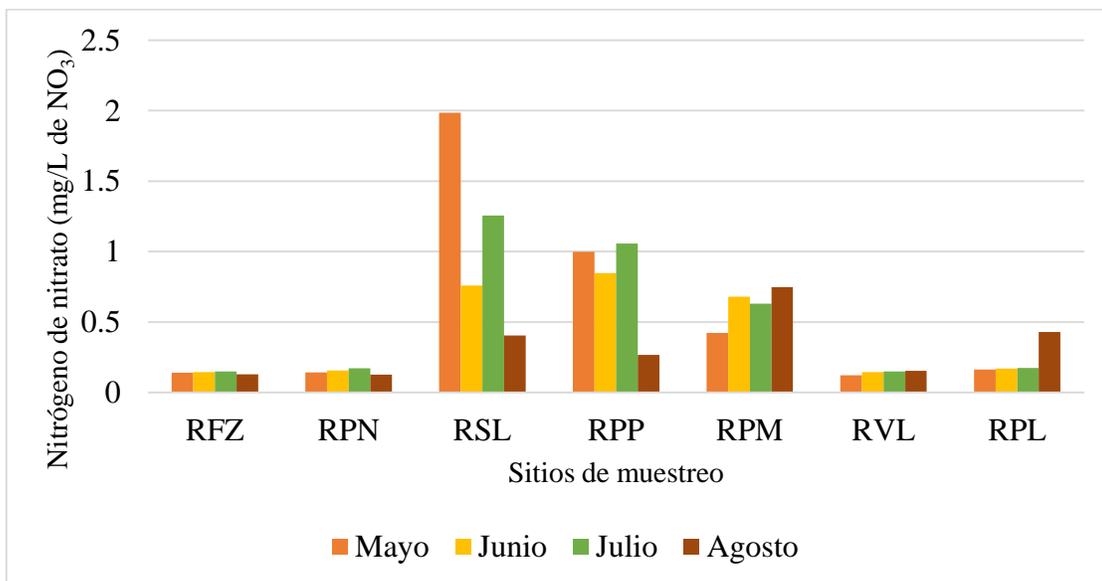
Anexo 7. Nitrógeno total obtenido en los meses de muestreo en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán. (RFZ) río Frutal/Zacatal, (RPN) río Pinula, (RSL) río San Lucas, (RPP) río Pansalic/Panchiguajá, (RPM) río Pampumay, (RVL) río Villalobos, (RPL) río Platanitos



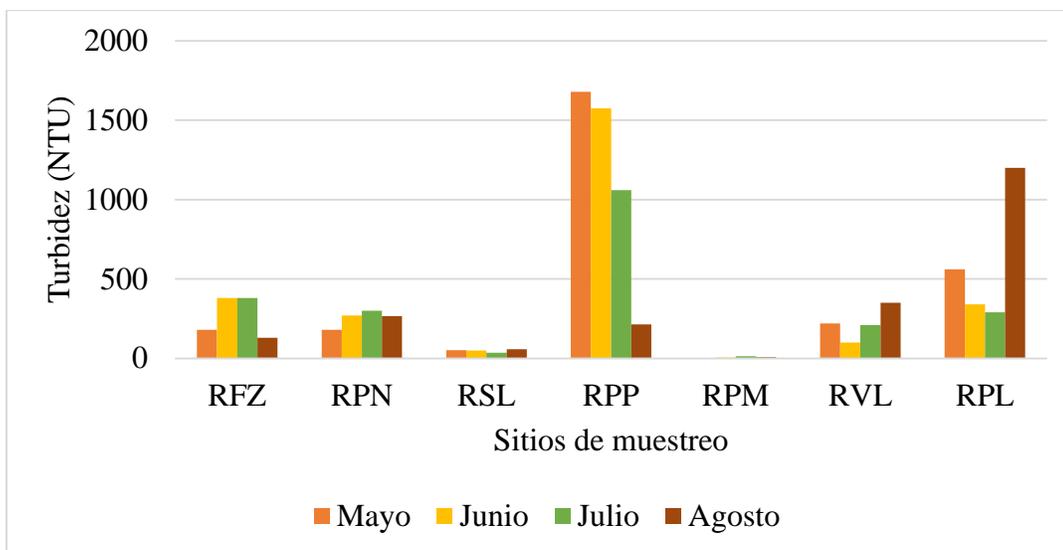
Anexo 8. Nitrógeno de amonio obtenido en los meses de muestreo en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán. (RFZ) río Frutal/Zacatal, (RPN) río Pinula, (RSL) río San Lucas, (RPP) río Pansalic/Panchiguajá, (RPM) río Pampumay, (RVL) río Villalobos, (RPL) río Platanitos



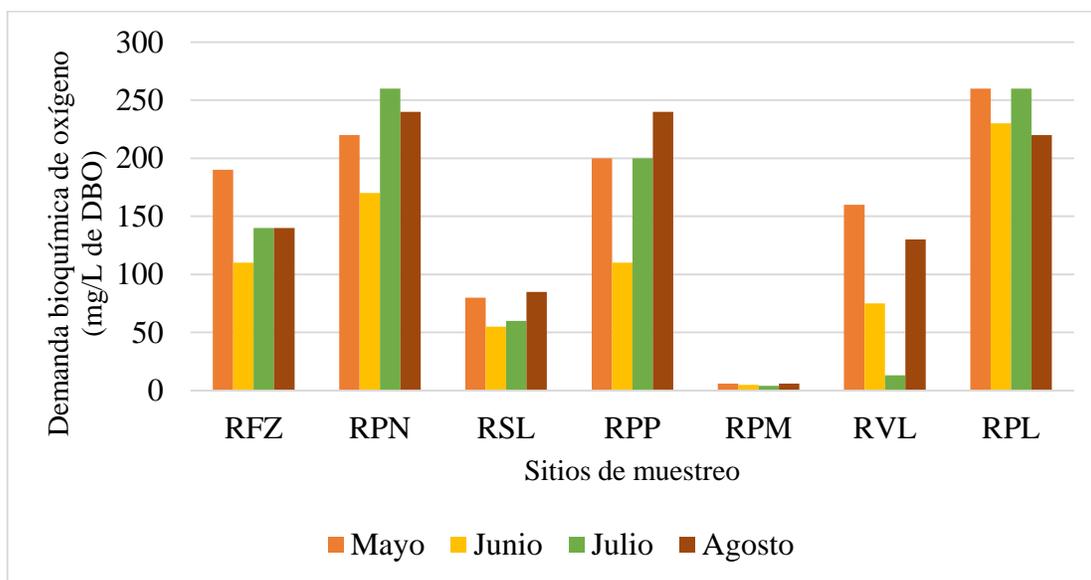
Anexo 9. Nitrógeno de nitrito obtenido en los meses de muestreo en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán. (RFZ) río Frutal/Zacatal, (RPN) río Pinula, (RSL) río San Lucas, (RPP) río Pansalic/Panchiguajá, (RPM) río Pampumay, (RVL) río Villalobos, (RPL) río Platanitos



Anexo 10. Nitrógeno de nitrato obtenido en los meses de muestreo en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán. (RFZ) río Frutal/Zacatal, (RPN) río Pinula, (RSL) río San Lucas, (RPP) río Pansalic/Panchiguajá, (RPM) río Pampumay, (RVL) río Villalobos, (RPL) río Platanitos



Anexo 11. Turbidez obtenida en los meses de muestreo en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán. (RFZ) río Frutal/Zacatal, (RPN) río Pinula, (RSL) río San Lucas, (RPP) río Pansalic/Panchiguajá, (RPM) río Pampumay, (RVL) río Villalobos, (RPL) río Platanitos



Anexo 12. Demanda bioquímica de oxígeno obtenida en los meses de muestreo en los principales ríos tributarios de la cuenca del lago de Amatitlán. (RFZ) río Frutal/Zacatal, (RPN) río Pinula, (RSL) río San Lucas, (RPP) río Pansalic/Panchiguajá, (RPM) río Pampumay, (RVL) río Villalobos, (RPL) río Platanitos