



Ministerio de
**Agricultura,
Ganadería y
Alimentación**

Con apoyo de la autoridad para el manejo sustentable
del lago de Atitlán AMSCLAE y el Centro de
estudios Atitlán de la Universidad del Valle de
Guatemala, Campus altiplano.

**“Macro invertebrados como
bioindicadores de la calidad del agua del
ecosistema del tul (*Schoenoplectus
californicus*), en el lago de Atitlán,
Sololá”**

Agencia de extensión rural municipal de Santa
Catarina Palopó.

M. Sc. Sucely Paola González Rosales



ÍNDICE

Resumen Ejecutivo	vi
Executive Summary	vii
Introducción	ix
CAPITULO I. Objetivo de estudio	1
a. Planteamiento del problema	1
b. Definición del problema	2
a. Delimitación del problema	2
c. Objetivos de la investigación.....	3
d. Justificación del estudio.....	3
CAPITULO II: Metodología	6
CAPITULO III: Fundamentación teórica.....	9
a. Antecedentes teóricos de las variables del problema	9
b. Marco teórico y conceptual	11
Ecosistema acuático	11
Calidad del ambiente acuático	13
Diversidad biológica.....	13
Riqueza	14
Abundancia.....	14
Indicadores biológicos de calidad de agua	14
Biological Monitoring Working Party (BMWWP).....	19
Índice de Shannon- Weaver.....	21
Índice de Simpson	22
Ubicación.....	23
Temporalidad.....	26



Capítulo IV: Discusión de resultados	27
a. Primer muestreo.....	27
b. Segundo muestreo.....	32
Capítulo VI: Formulación de la tesis	41
Capítulo VII: Conclusiones	42
Capítulo VIII: Recomendaciones	44
a. Propuesta técnica	45
Bibliografía.....	49
ANEXOS	52
a. Cuadros de datos y cálculos para índices de bio diversidad.....	52
Primer muestreo.....	52
Segundo muestreo.....	65
b. Fotografías	78
Cronograma de actividades.	88

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Ficha Metódica	6
Cuadro 2 Nombres que reciben los macro invertebrados de acuerdo con su tipo de adaptación.	16
Cuadro 3 Características ambientales de los macro invertebrados acuáticos.....	16
Cuadro 4 Clasificación de calidad de agua con el índice BMRP.	20
Cuadro 5 Puntajes de las familias de macro invertebrados acuáticos para el índice BMWP/Co,	20
Cuadro 6 parámetros de clasificación de Shannon se categorizan en diversidad alta, media y baja.....	21
Cuadro 7. Ubicación de lugar y sitios de muestreo.	26

Cuadro 8 comportamiento de las propiedades físicas y químicas dentro del ecosistema del tul	36
Cuadro 9 Análisis de agua en Santiago Atitlán.	52
Cuadro 10 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas Santiago Atitlán.	53
Cuadro 11 Cálculos para la obtención del valor del índice de BMWP para Santiago Atitlán.	53
Cuadro 12 Cálculos para la obtención del valor del índice de Shannon y de Simpson para Santiago Atitlán.	54
Cuadro 13 Resultados del análisis de agua en San Antonio Palopó.	55
Cuadro 14 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas San Antonio Palopó.	55
Cuadro 15 Cálculos para la obtención del valor del índice de BMWP para San Antonio Palopó.	56
Cuadro 16 Cálculos para la obtención del valor del índice de Shannon y de Simpson para San Antonio Palopó.	56
Cuadro 17 Análisis de agua en Santa Catarina Palopó.	57
Cuadro 18 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas Santa Catarina Palopó.	58
Cuadro 19 Cálculos para la obtención del valor del índice de BMWP para Santa Catarina Palopó.	58
Cuadro 20 Valor del índice de Shannon y de Simpson para Santa Catarina Palopó.	59
Cuadro 21 Análisis de agua en Panajachel.	60
Cuadro 22 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas Panajachel.	61
Cuadro 23 Valor del índice de BMWP para Panajachel.	61
Cuadro 24 Valor del índice de Shannon y de Simpson para Panajachel.	62
Cuadro 25 Análisis de agua en San Marcos la Laguna	62
Cuadro 26 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas San Marcos la Laguna.	63
Cuadro 27 Valor del índice de BMWP para San Marcos la Laguna.	64
Cuadro 28 Valor del índice de Shannon y de Simpson para San Marcos la Laguna.	64
Cuadro 29 Análisis de agua en Santiago Atitlán.	65

Cuadro 30 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas en Santiago Atitlán.	66
Cuadro 31 Valor del índice de BMWP para Santiago Atitlán.	66
Cuadro 32 Valor del índice de Shannon y de Simpson para Santiago la Laguna.	67
Cuadro 33 Análisis de agua en Santa Catarina Palopó.	68
Cuadro 34 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas San Antonio Palopó.	68
Cuadro 35 Valor del índice de BMWP para San Antonio Palopó.	69
Cuadro 36 Valor del índice de Shannon y de Simpson para San Antonio Palopó.	69
Cuadro 37 Análisis de agua en Santa Catarina Palopó.	70
Cuadro 38 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas Santa Catarina Palopó.	71
Cuadro 39 Valor del índice de BMWP para Santa Catarina Palopó.	71
Cuadro 40 Valor del índice de Shannon de Simpson para Santa Catarina Palopó.	72
Cuadro 41 Resultados del análisis de agua en Panajachel.	73
Cuadro 42 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas Panajachel.	73
Cuadro 43 Valor del índice de BMWP para Panajachel.	74
Cuadro 44 Valor del índice de Shannon y de Simpson para Panajachel.	74
Cuadro 45 Análisis de agua en San Marcos la Laguna	75
Cuadro 46 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas San Marcos la Laguna.	76
Cuadro 47 Valor del índice de BMWP para San Marcos la Laguna.	76
Cuadro 48 Valor del índice de Shannon y de Simpson para San Marcos la Laguna.	77
Cuadro 49A cronograma de actividades.	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ecosistema acuático	12
Figura 2 Ecosistema acuático lético	13
Figura 3 Ubicación del lago de Atitlán	24



Figura 4 Ubicación de los puntos de muestreo	24
Figura 5 Dimensiones del punto de muestreo	25

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Índice BMWP para primer muestreo	37
Gráfica 2 Índice BMWP para el segundo muestreo	37
Gráfica 3 Índice Shannon para el primer muestreo	38
Gráfica 4 Índice de Shannon para el segundo muestreo	39
Gráfica 5 Índice Simpson para el primer muestreo.	39
Gráfica 6 Índice de Simpson para el segundo monitoreo.	40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2 Recolección de muestras de agua se utilizó una botella tipo Van Don a una altura de 0.5 metros.	78
Ilustración 3 Sonda paramétrica	78
Ilustración 4 Muestreo de macro invertebrados con una red tipo D en el ecosistema del tul.	79
Ilustración 5 Muestreo de macro invertebrados con una red tipo D en ecosistema sin tul.	79
Ilustración 6 Colocación de las muestras de macros en bolsas herméticas	80
Ilustración 7 Lavado de red tipo D después de colocar las muestras en las bolsas.	80
Ilustración 8 Etiquetado y conservación de las muestras de macro invertebrados	81
Ilustración 9 Almacenamiento de las muestras de macro invertebrados	81
Ilustración 10 Limpieza de las muestras de macro invertebrados	82
Ilustración 11 Identificación de macro invertebrados acuáticos.	82
Ilustración 12 Almacenamiento de los macro invertebrado en alcohol al 70%	83
Ilustración 13 Boleta de campo para recolección de muestras	84
Ilustración 14 especies de maro invertebrados encontrados en los muestreos	85



Resumen Ejecutivo

Durante los últimos años el ecosistema del tul dentro del lago de Atitlán ha sido alterado por las diferentes actividades antropológicas, fenómenos climáticos y variación del nivel del agua. Algunas de las cadenas tróficas relacionadas a este ecosistema han sido alteradas y se ha roto su equilibrio natural, por tanto, el análisis de la calidad del agua a través de macro invertebrados permitió obtener información confiable sobre su estado ecológico actual. Por lo tanto, es importante haber realizado un estudio que permita determinar el índice biológico y la calidad del agua en dicho ecosistema. A través de análisis periódicos sobre sus características biológicas que permitirá utilizar información complementaria a los análisis físicos y químicos, ya que este tipo de análisis también permite determinar el impacto por actividades antrópicas.

El ecosistema del tul tiene relación con ciertas condiciones físicas y químicas del agua, como por ejemplo regula y reduce la temperatura del agua, aspecto importante para la reducción de concentraciones de cianobacterias, contiene mayores concentraciones de oxígeno disuelto y contiene mayores valores de concentración de oxígeno, importante en el proceso de eutrofización que perjudica al lago. Las concentraciones de nitritos son mayores fuera del ecosistema del tul en la mayoría de las muestras, quiere decir que el tul está utilizando este elemento para su propio crecimiento, aspecto importante por todos los restos de fertilizante que llegan al lago.

El BMWP de valor 29 del tul, es el primer índice registrado de dicho ecosistema en el lago de Atitlán y su categorización de agua es de dudosa a critica, los ecosistemas de mejor calidad de agua y mayor diversidad biológica según BMWP fueron Santiago Atitlán y San Antonio Palopó. Cabe mencionar que dentro del tul no se encontraron categorías “muy critica” como fue algunos casos de las muestras fuera del tul, es decir el tul evita que el agua baje de categoría con respecto a su contaminación.



La elaboración de este tipo de estudios brinda la base técnica y científica sobre la relación que tiene el ecosistema del tul con la calidad de agua, la falta de ellos hace que sea más difícil planificar y trazar estrategias para mejorar sus condiciones, optimizar su manejo y conservación en aras de un desarrollo sostenible.

Beneficios	Descripción
Ecológico	Sirve de refugio y habitad de especies de peces, macro invertebrados y aves entre otros.
Físico	Aporta oxígeno al agua y , reducción de la temperatura del agua
Químico	Regula el pH del agua
Ambiental	Sirve de barrera de protección para la basura en las playas.
Económico	Sirve de fibra para la elaboración de artesanías
Turístico	Sirve de protección para la erosión de las playas y como atractivo turístico.

Executive Summary

During the last few years, the tulle ecosystem within Lake Atitlán has been altered by different anthropological activities, climatic phenomena and water level variation. Some of the trophic chains related to this ecosystem have been altered and their natural balance has been broken, therefore, the analysis of water quality through macroinvertebrates allowed us to obtain reliable information about its current ecological status. Therefore, it is important to have conducted a study to determine the biological index and water quality in this ecosystem. Through periodic analyses of its biological characteristics, it will be possible to use complementary information to the physical and chemical analyses, since this type of analysis also makes it possible to determine the impact of anthropogenic activities.



The tulle ecosystem is related to certain physical and chemical water conditions, such as regulating and reducing water temperature, containing higher dissolved oxygen concentrations, and containing higher oxygen concentration values. Nitrite concentrations are higher outside the tulle ecosystem in most samples.

The BMWP of tulle value 29 is the first index recorded for this ecosystem in Lake Atitlán and its water categorization is from doubtful to critical, the ecosystems with the best water quality and highest biological diversity according to BMWP were Santiago Atitlán and San Antonio Palopó. Although Shannon's indexes categorized the San Marcos la Laguna and Santa Catarina Palopó ecosystems as low in diversity, Simpson's index classified some ecosystems as high in diversity.

The elaboration of this type of studies provides the technical and scientific basis on the relationship between the tulle ecosystem and water quality; the lack of such studies makes it more difficult to plan and outline strategies to improve the conditions, optimize its management and conservation for the sake of sustainable development

Introducción

En los últimos años, los problemas en la calidad del agua en lago de Atitlán han ido en aumento, afectando directamente las características del agua y consigo alteraciones en cada uno de sus ecosistemas. Dentro de estos ecosistemas se encuentra el del tul, que según (CONAP, 2017) tiene un gran valor ecológico debido a que pertenece a una de las diez familias de plantas con mayor presencia en el lago. Algunas de las cadenas tróficas relacionadas a este ecosistema han sido alteradas y se ha roto su equilibrio natural, por tanto, el análisis de la calidad del agua a través de macro invertebrados brindo información sobre su estado ecológico actual.

En Guatemala, específicamente en Atitlán, se han realizado estudios en zonas específicas como ríos y en zonas litorales. Este tipo de estudios brindan una base metodológica sobre cómo se ha estudiado el fenómeno en la región. Sin embargo, a pesar de la importancia que tiene el tul en las áreas litorales y de ecosistemas que del lago de Atitlán, aún no se contaba con ningún estudio en sistemas lenticos sobre su calidad ecológica mediante indicadores confiables.

La presente investigación detalla los resultados de agua y de macro invertebrados en los sitios de muestreo, así mismo detalla cómo se procesaron las muestras para la obtención de los datos necesarios para obtener los índices de BMWP, Shannon y Simpson de los ecosistemas estudiados, de la misma manera de a conocer la clasificación del agua según las especies de familias de macro invertebrados encontrados, los muestreos se realizaron época de verano (marzo) y el segundo muestreo realizado en invierno (septiembre).

Los datos obtenidos durante los muestreos se utilizaron para lograr la clasificación la calidad de agua dentro y fuera del tul, cuyo análisis permitió la formulación las recomendaciones pertinentes, enfocadas al fortalecimiento y conservación de estos ecosistemas tan importantes en el lago de Atitlán.



CAPITULO I. Objetivo de estudio

a. Planteamiento del problema

Durante los últimos años el ecosistema del tul dentro del lago de Atitlán ha sido alterado por las diferentes actividades antropológicas, fenómenos climáticos y variación del nivel del agua. El tul constituye un elemento muy importante en el lago de Atitlán, ya que la pérdida de masas tulares repercute en la pérdida de hábitat, no sólo de los macro invertebrados, sino también de muchas especies de aves, peces, reptiles, entre otros.

Muchas de las especies en el lago han ido cambiando y otras se han perdido por completo, por tanto, el análisis de la calidad del agua a través de macro invertebrados permitió conocer información confiable sobre su estado ecológico actual.

A pesar de los esfuerzos realizados por instancias gubernamentales y no gubernamentales, es evidente el deterioro del lago con el paso de los años y el impacto de fenómenos climáticos que han agraviado este problema. Sin embargo, a pesar de la importancia que tiene el tul en las áreas litorales y de ecotonos que del lago de Atitlán, no se contaban con estudios en sistemas lenticos sobre su calidad ecológica mediante indicadores confiables. De esta razón nace la necesidad de generar los primeros datos sobre el estado ecológico del ecosistema del tul en lago.

La calidad del agua repercute directamente en la calidad ecológica del ecosistema. Si no se contara la base técnica y científica sobre la relación que tiene el ecosistema del tul con la calidad de agua, se torna más difícil planificar y trazar estrategias para mejorar sus condiciones y optimizar su manejo y conservación en aras de un desarrollo sostenible.

Como dijera (Guevara, 2020) cada vez se hace más necesario y conveniente utilizar metodologías complementarias adicionalmente a las empleadas para determinar la calidad de las aguas de los ecosistemas lenticos y loticos naturales para conocer las características del



componente biótico del ecosistema acuático, en lo referente a la composición, estructura y función de la comunidad en general o de una de sus comunidades en general.

b. Definición del problema

- 1) ¿Cuál la calidad del agua en el ecosistema del tul a través del BMWP?
- 2) ¿Cuál la relación entre el BMWP con la calidad de agua determinada en el ecosistema del tul?
- 3) ¿Qué se logra identificar a través de la comparación de las características físico químicas del agua y el BMWP?

a. Delimitación del problema

El estudio se realizó en 5 municipios de la orilla del lago de Atitlán, los cuales son Panajachel, San Marcos la Laguna, Santiago Atitlán; San Antonio Palopó y Santa Catarina Palopó,

Los sitios de muestreo se tomaron de un análisis de masas tulares en conjunto con la Autoridad del Manejo Sustentable del Lago de Atitlán, específicamente del departamento de investigación y calidad ambiental integrado por la directora del departamento de investigación y la delegada del Tul de la misma institución. Se hizo el análisis de las mejores masas tulares que tenían las mismas características tanto en su calidad como en sus características físicas similares en cuanto a largo, ancho y profundidad.

Se realizó el primer muestreo en época de verano en el mes de marzo y el segundo muestreo se realizó en el mes de septiembre, cuya duración de muestreo de cada sitio de muestreo fue de 20 minutos por cada uno.



c. Objetivos de la investigación

Objetivo general

Clasificar la calidad del agua utilizando macroinvertebrados como indicadores biológicos del ecosistema del tul (*Schoenoplectus californicus*), en el lago de Atitlán, Sololá.

Objetivos específicos

1. Determinar la calidad del agua en el ecosistema del tul a través del BMWP.
2. Analizar la relación entre el BMWP con la calidad de agua determinada en el ecosistema del tul.
3. Analizar la comparación de las características fisicoquímicas del agua y el BMWP.

d. Justificación del estudio

El inadecuado uso de los recursos naturales, la explotación y privatización de las playas, la pesca ilegal, la contaminación por aguas residuales, los desechos sólidos, la falta de ordenamiento en el uso de litorales y ecotonos, y la sobreexplotación de fibra de tul ponen en riesgo este valioso ecosistema. Por lo tanto, era importante realizar un estudio que permitiera determinar el índice biológico y la calidad del agua en dicho ecosistema.

Evaluar la calidad del agua a través de análisis periódicos sobre sus características biológicas que permitirá utilizar información complementaria a los análisis físicos y químicos, ya que este tipo de análisis también permitió relacionar el impacto por actividades antrópicas.

Conocer la dinámica de las comunidades de macro invertebrados del lago puede revelar como las actividades humanas están impactando en dicho ecosistema y pueden ser utilizados como bioindicadores de la salud del lago de Atitlán.



De acuerdo con (CONAP, 2017) dentro de las familias de especies acuáticas mejor representadas en el lago de Atitlán están *Potamogetonácea* y *Poaceae*, y dentro de estas especies destaca el tul como planta acuática importante en el ecosistema del lago la cual tiene una gran importancia ecológica

Corroborado por (DICA/AMSCLAE, 2020) en los sitios donde hay tul el agua del lago es más cristalina y menos contaminada. El tul logra absorber parte del exceso de nutrientes y los aprovecha para su propio crecimiento.

Al momento no existían estudios o investigaciones aplicadas a este tipo de ecosistema, por ello se plantea el presente estudio ya que está compuesto por la comunidad biótica y el hábitat, con un enfoque que incluye su relación con el entorno biológico y físico.

Cabe mencionar que esta investigación permitió generar información y con base científica utilizando indicadores biológicos. Los macro invertebrados son utilizados como indicadores biológicos ya que son especies sensibles a perturbaciones del ambiente como la contaminación, su amplia distribución, su amplia diversidad presente en el lago, por lo general son representativos del lugar, mediante evidencias de las relaciones e interacciones dentro del ecosistema. Tomando en cuenta lo anterior mencionado, se utilizaron los macro invertebrados y que de manera los indicadores biológicos indicaran el estado de la calidad del agua del ecosistema del tul actualmente en el lago de Atitlán.

Adicionalmente, el presente estudio generó los primeros indicadores biológicos en el ecosistema del tul, y es la primera vez que se adaptado el BMWP a un sistema lento en Guatemala. De acuerdo con ecológico (Ministerio de Agricultura, 2013) el Biological Monitoring Working Party (IBMWP) es aplicado en los programas de seguimiento del estado de las masas de agua como ríos, lagos y embalses en la clasificación del estado en otras palabras, esto permitió aplicar esta metodología en el lago de Atitlán.



Se pretendía aportar información sobre los aportes y beneficios de tul en los ecosistemas acuáticos, así como una herramienta académica y científica, con una metodología simple. Así mismo a ser utilizado como una herramienta de comparación con otras investigaciones relacionadas a la calidad del agua utilizando métodos biológicos y analizar su posible relación entre las actividades humanas que impactan en la calidad del agua y del funcionamiento biológico del ecosistema del tul.

Aparte de ser una herramienta académica, puede utilizarse como una herramienta para la para la gestión y creación de políticas integrales en los planes de manejo de las zonas litorales del lago.



CAPITULO II: Metodología

A continuación, en el cuadro número 1 se presenta el contenido de una ficha metódica, con todos los datos de identificación posibles en la investigación.

Cuadro 1 Ficha Metódica

Elemento Epistemológico	Datos de identificación
Enfoque metódico general	Mixto
Carácter general	Exploratorio
Clase	No experimental
Tipo	Longitudinal sincrónica
Subtipo	Correlacional
Sesgo de análisis	Inductivo
Implementación metódica	El razonamiento inductivo extrae una premisa probable a partir de observaciones específicas y limitadas. El proceso es el siguiente: se realizan observaciones, se discierne un patrón que lleva a una generalización y de ahí se saca una explicación o una teoría. Por tanto, hay datos y se extraen conclusiones de esos datos
Técnicas de Investigación	Tipos de muestreo: Mixto. Método de muestreo: Por conglomerados A este tipo de muestreo aleatorio se le conoce también como muestreo por cúmulos o muestreo por áreas.
Procedimiento de la investigación	. Fase conceptual, fase metodológica y fase empírica
Herramientas y formas de investigación	Para recolección de los insectos se realizarán muestreo de macro invertebrados utilizando una red de tipo “D” y una draga Ekman. En el caso de la recolección de muestras de agua se utilizará la botella tipo Van Dorn.
Unidad de Análisis	Familias de macro invertebrados fisicoquímicas Características Índice biológico Tipo d calidad de agua (BMWP)

1. Red de tipo “D” de muestreo de macro invertebrados de 500 µm de luz de malla, cuyo marco tenga 0,25 m de base y altura igual o superior y mango.
2. Bandejas de PVC (mínimo 30 x 20 cm).
3. Pinzas entomológicas.
4. Botes estancos de 1-2 L y boca ancha para el almacenado de las muestras de macro invertebrados.
5. Frasco lavador.
6. Alcohol etílico (C2H5OH) 96%.
7. Sonda multiparamétrica con sensores de temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto.
8. Protocolo de muestreo.
9. Hojas de campo.
10. Claves de identificación de los elementos de calidad biológicos

Equipo y materiales de complemento

1. Bolígrafo, rotulador permanente o cualquier otro método para etiquetar las muestras. Si se usan etiquetas deben ser resistentes a la humedad.
2. Fundas impermeables para las fichas de campo.
3. GPS.
4. Cámara digital.
5. Cartografía adecuada.
6. Teléfono móvil.
7. Tijeras.
8. Cinta adhesiva y papel cebolla para rotular las muestras.
9. Recipientes adecuados para el transporte de los botes de muestras y el fijador.
10. Vadeador.
11. Guantes de látex y de goma largos (hasta por encima del codo).

Equipos para el análisis de muestras

1. Tamices de 5 mm, 1 mm y 0.5 mm.
2. 3 bandejas de PVC (mínimo 30 x 20 cm).
3. Elutriador o hidroseparador.
4. Submuestreador opcional.
5. Alcohol etílico al 96% y al 70%
6. Formaldehído al 40%.
7. Borato de sodio Na₂B₄O₇ x (10 H₂O).
8. Pipeta 50 ml.

Materiales y recursos



	<ul style="list-style-type: none">9. Placas de Petri.10. Pinzas entomológicas.11. Viales plásticos y otros recipientes con tapones herméticos.12. Claves de identificación de los elementos de calidad biológicos (MAGRAMA).13. Hojas de laboratorio.14. Gradilla graduada15. Botella de Van Dorm
Instancias legales de investigación	Se realizaron 2 cartas de solicitudes de conocimiento y solicitud de apoyo, una a la autoridad del manejo sustentable del lago de Atitlán (AMSCLAE) y otra a la Asociación Amigos del Lago.

Fuente: Propia, 2023



CAPITULO III: Fundamentación teórica

a. Antecedentes teóricos de las variables del problema

Existen reportes de estudios utilizando macro invertebrados como bioindicadores para evaluar la calidad de cuerpos de agua, por ejemplo, en Nigeria (Science, 2021), en el arroyo Iyi-agu recolectaron muestras quincenalmente en tres puntos de muestreo: aguas arriba, aguas intermedias y aguas abajo, de junio a agosto de 2019 para análisis fisicoquímicos y estudios de macro invertebrados. Analizaron las variaciones mensuales de los macro invertebrados y las propiedades fisicoquímicas mediante estadística descriptiva y matrices de correlación. Se concluyó que las especies *Hirudo medicinalis*, *Nsukkadrillus mbae* y *Anopheles gambiae* tienen potencial como indicadores de la calidad del agua.

En Argentina (Capeleti, 2021) realizaron una evaluación de métricas de macro invertebrados para la evaluación ecológica de grandes ríos salinos. Este estudio evaluó tres aspectos: (1) la sensibilidad de las métricas taxonómicas, (2) los rasgos funcionales para seleccionar los más apropiados para evaluar los impactos ambientales en ríos con alta salinidad, y (3) proponer un índice multimétrico basado en las métricas seleccionadas. Y se identificó un gradiente de condición del hábitat en relación con un deterioro de los hábitats de agua dulce en una cuenca de alta salinidad, asociado a actividades agrícolas, urbanas e industriales.

En Perú (Sanchez, 2018) estimaron la diversidad y abundancia de invertebrados bentónicos en lagunas altoandinas y determinaron su posible uso como indicadores biológicos. Se muestearon un total de 16 lagunas de junio a octubre 2015, y determinaron que los parámetros conductividad, pH, temperatura y oxígeno disuelto influyen en la distribución y abundancia de macro invertebrados, y que las familias *Corixidae*, *Chironomidae* y *Hyalellidae* son resistentes a las condiciones ambientales alteradas por materia orgánica y metales pesados.

En México (Jose Guadalupe Granados, 2017) realizaron un reconocimiento de la riqueza de macro invertebrados bentónicos y de la zona litoral de ambos lagos, y también una



actualización del listado taxonómico de su fauna. Se realizaron cuatro muestreos en ambos lagos durante los períodos de estiaje y lluvias entre los años 2013 y 2015. Los resultados obtenidos de la diversidad de macro invertebrados revelaron que ambos lagos presentan una riqueza importante. Se concluyó que el lago Zempoala registra menor cantidad de riqueza y abundancia de fauna, considerándolo un ecosistema impactado por la alta actividad turística. Mientras que el lago Tonatiahua mostró mayor riqueza de macro invertebrados, derivado de que tiene menor actividad turística, relacionado con un menor impacto antropogénico.

En Guatemala (Guevara, 2020) usó macro invertebrados acuáticos como indicadores de la calidad ecológica del agua de la microcuenca del río Pansalic, mostrando tres calidades de agua: Aceptable, dudosa y crítica, sin embargo, no concluyente por las características del ecosistema bosque en la microcuenca del cual procede el río. A pesar de la baja cantidad de macro invertebrados obtenidos durante los muestreos, el área que abarca los puntos de muestreos presentó una alta riqueza de especies y una diversidad media.

Y en Atitlán, Guatemala se tiene registro de tres estudios utilizando macro invertebrados acuáticos y bentónicos como indicadores biológicos de calidad del agua. (Reyes, 2014) usó macro invertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad del agua en la cuenca del Lago Atitlán, Guatemala. Y estableció que la estructura y composición de las comunidades de macro invertebrados están influenciados por perturbación antropogénica además de otros factores como la cantidad de materia orgánica disuelta. Fatima Reyes (Fatima Reyes, 2014) estudiaron el efecto del esfuerzo de muestreo en la riqueza de taxones de macro invertebrados acuáticos y el índice BMWP/Atitlán. Llegando a dos concluyeron: (1) A mayor tiempo de recolecta mayor es el área muestreada, y por consiguiente se incluyen una mayor diversidad de sustratos o micro hábitats. Y (2) la densidad de organismos en una comunidad también afecta la riqueza de taxones de una muestra, porque es posible recolectar un alto número de individuos sin acumular muchas especies (Ortiz, 2015) realizó una caracterización de las comunidades de macro invertebrados bentónicos de la zona litoral y sub litoral del lago de Atitlán, en relación a su diversidad, abundancia y distribución. Concluyendo que la distribución de los macro invertebrados bentónicos de la zona litoral y



sub litoral del lago de Atitlán, no se ve influenciada por las condiciones fisicoquímicas del agua ni por la composición granulométrica del sedimento.

b. Marco teórico y conceptual

Ecosistema acuático

El término “ecosistema” fue acuñado por Tansley en 1935 como el “complejo de organismos junto con los factores físicos de su medio ambiente” en un lugar determinado, y propuesto además como una de las unidades básicas de la naturaleza. Desde su planteamiento, Tansley resaltó la idea de ecosistema como “unidad básica de la naturaleza”. Algunos años después se refirió al ecosistema como una entidad reconocible auto contenida, al identificarlo como un nivel de organización superior o, en el marco de la teoría de sistemas, una categoría más entre los sistemas físicos que componen el universo, desde el átomo hasta las galaxias. (Armenteras, 2015)

Muchos de las perturbaciones que aquejan a estos tipos de ecosistemas son la extracción desmedida de estos cuerpos de agua, vertimiento de desechos inorgánicos y orgánicos, además la introducción de especies endémicas de la zona, este último con un grado elevado de peligrosidad, debido a que las especies locales pueden ser depredadas o desplazadas por competencia ecológica, incluyendo el contagio por enfermedades no existentes originalmente en el sitio; en caso que la contaminación y la afectación altere por largos lapsos al cuerpo acuífero tendrá daños que podrían ser irreversibles (Huaman, 2019)

La contaminación es considerada como alteración que provoca que algunas especies se adapten a ella o desaparezcan, esto a consecuencia de la degradación de la calidad de agua, lo que refleja cambios en las propiedades físicas químicas lo que altera significativamente a la biota del lugar (Huaman, 2019)

El ecosistema acuático está representado en la Figura 1, en donde se observan sus componentes más comunes.

Figura 1 Ecosistema acuático



Fuente: El Ecosistema, s.f.

Un incremento en nutrientes esto se ve impulsado principalmente por la acción humana, la cual realiza un volcado de desechos de diferente origen, la cual provoca una afectación a este ecosistema. Este tipo de actividades dan como resultado a un proceso llamado eutrofización, el cual se traduce como cambios en las condiciones en el entorno y el eventual reemplazo de organismos que suelen adaptarse mejor a ese tipo de ambiente modificado (Huaman, 2019)

Un sistema acuático está compuesto por elemento bióticos como animales, plantas y microrganismos descomponedores, también de abióticos como rocas y condiciones climáticas. Los sistemas léticos son aguas almacenadas de manera natural o artificial como los lagos y lagunas (Zuñiga, 2000) (ver Figura 2).

Figura 2 Ecosistema acuático lento



Fuente: Castro, 2020

Calidad del ambiente acuático

La calidad del agua se refiere a la composición y bienestar de la biota en un cuerpo de agua (Chapman, 1996) al evaluar la calidad de las aguas mediante el estudio de la composición y estructura de comunidades de organismos surge el término de *calidad biológica*.

Se considera que un medio acuático presenta una buena calidad biológica cuando tiene características naturales que permiten que en su seno se desarrollos las comunidades de organismos que les son propias (Alba, 1996)

Los índices pueden generarse utilizando ciertos elementos básicos en función de los usos del agua.

Diversidad biológica

La diversidad biológica es la gran variedad de seres vivos que hay en un área particular, es una propiedad que se puede cuantificar de muchas maneras diferentes. Hay dos factores principales que se tienen en cuenta al medir la diversidad: la riqueza y la equitatividad. (Lifeder, 2020)



La riqueza biológica es una medida de la cantidad de organismos diferentes presentes en un área particular; es decir, la cantidad de especies presentes en un hábitat. Sin embargo, la diversidad no solo depende de la riqueza de especies, sino también de la abundancia de cada especie. La abundancia compara la similitud entre los tamaños poblacionales de cada una de las especies presentes. (Lifeder, 2020)

Riqueza

El número de especies tomadas en una muestra de hábitat es una medida de la riqueza. Cuantas más especies estén presentes en una muestra, mayor riqueza tendrá la muestra. (Lifeder, 2020)

La riqueza de especies como medida en sí misma no tiene en cuenta el número de individuos que hay en cada especie. Lo anterior quiere decir que se le otorga el mismo peso a las especies que tienen pocos individuos como a las que tienen muchos individuos (Lifeder, 2020)

Abundancia

La abundancia es una medida de la abundancia relativa de las diferentes especies que componen la riqueza de un área; es decir, que en un hábitat determinado la cantidad de individuos de cada especie también tendrá un efecto sobre la biodiversidad del lugar. Una comunidad dominada por una o dos especies se considera menos diversa que una comunidad en la que las especies presentes tienen una abundancia similar. (Lifeder, 2020)

Indicadores biológicos de calidad de agua

Los bioindicadores, o indicadores biológicos, son atributos de los sistemas biológicos que se emplean para estudiar alguna característica de su ambiente. Estos atributos suelen ser



especies o asociaciones de éstas, y también incluso poblaciones y comunidades (Martinez, 2010)

Los impactos como la contaminación inducen a cambios en la estructura de las comunidades, la función biológica de los sistemas acuáticos y al propio organismo, afectando su ciclo de vida (límites máximos), crecimiento (límites intermedios) y su condición reproductiva (límites más estrechos) (Reyes, 2014)

El bioindicador aplicado a la evaluación de calidad de agua, se refiere a una especie, población o comunidad que posee requerimientos particulares con relación a uno o un conjunto de variables físicas o químicas, tal que los cambios de presencia/ausencia, número, morfología y/o de conducta, indica que las variables físicas o químicas consideradas, se encuentran cerca de sus límites de tolerancia. (Alvarez, 2005)

Se refiere al grupo de organismos que se pueden observar a simple vista, tienen tamaños superiores a 0.5 mm de longitud. Dentro de este grupo se incluyen los poríferos, hidrozoos, turbelarios, oligoquetos, chironómidos, anfípodos, hirudíneos, insectos, arácnidos, crustáceos, gasterópodos y bivalvos. (Pérez, Los macroinvertebrados como indicadores biológicos del agua, 2016)

Los macro invertebrados acuáticos pueden vivir en la superficie, en el fondo o nadar libremente, de ahí que reciban diferentes nombres de acuerdo con este tipo de adaptación, los cuales se describen en el Cuadro 2.

Nombres que reciben los macro invertebrados de acuerdo con su tipo de adaptación. Adaptado de (Pérez, Los macroinvertebrados como indicadores biológicos del agua, 2012).



Cuadro 2 Nombres que reciben los macro invertebrados de acuerdo con su tipo de adaptación.

Nombre	Características
Neuston	Se refiere a los organismos que viven sobre la superficie del agua caminando, patinando o brincando. Sus uñas, sus patas y su exoesqueleto están recubiertos por una especie de cera que los hace impermeables, así que, en vez de hundirse, doblan la superficie del agua venciendo la tensión superficial. Entre los representantes están las familias Gerridae y Mesoveliidae.
Necton	Está conformado por todos aquellos organismos que nadan libremente en el agua. Entre ellos se encuentran: Corixidae y Notonectidae del Orden Hemiptera; Dytiscidae, Gyrinidae e Hydrophilidae del orden Coleoptera y Batidae del Orden Ephemeroptera.
Bentos	Se refiere a todos aquellos organismos que viven en el fondo de ríos y lagos, adheridos a piedras, rocas, troncos, restos de vegetación y sustratos similares. Los principales órdenes representantes son: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Megaloptera y Diptera. También pueden encontrarse algunos enterrados en el fondo a varios centímetros de profundidad, como la familia Euthyplociidae (Ephemeroptera). Otros, como la familia Blephariceridae (Diptera), se adhieren fuertemente a rocas mediante un sistema de ventosas en el abdomen. Ciertas especies pertenecientes al orden Odonata (Zygoptera) se encuentran adheridas a vegetación acuática sumergida o emergente.

Fuente: (Pérez, Los macroinvertebrados como indicadores biológicos del agua, 2012

En el Cuadro 3 se describen algunas características ambientales de los macro invertebrados acuáticos.

Cuadro 3 Características ambientales de los macro invertebrados acuáticos.

Orden	Características
Ephemeroptera	Sus poblaciones son más abundantes en aguas frías que en aguas cálidas y la mayor diversidad se halla en aguas corrientes; son excelentes indicadores de aguas claras y limpias, sin embargo, existen especies con cierta tolerancia de niveles de contaminación orgánica. En la fase adulta lo desarrollan en áreas terrestres. Los adultos son de vida terrestre y viven pocas horas, suficiente para reproducirse
Odonata	Sus larvas se desarrollan en lagos o charcos con abundante vegetación, sin embargo, su



	fase adulta la desarrollan en ambientes terrestres; conocidos como “caballitos del diablo”. Constituyen los principales indicadores de calidad de aguas entre limpias y medianamente contaminadas con materia orgánica, cabe resaltar que algunas especies toleran altos niveles de contaminación.
Hemíptera	Se encuentran en aguas estancadas o corrientes, conocidas como “chinches de agua”. Estos mismos suelen habitar en aguas corrientes o estancadas similares a los odonatos. Los hemípteros son considerados como bioindicadores del mismo tipo de calidad de agua que los odonatos.
Coleóptera	Individuos considerados como uno de los más diversos y abundantes, se encuentran en aguas corrientes y zonas de remanso donde la vegetación es abundante. Constituyen excelentes indicadores de aguas limpias, sin embargo, hay especies que soportan ciertos niveles de contaminación orgánica.
Trichoptera	Se caracterizan porque las larvas construyen refugios con diferentes materiales (hojas de árboles, piedras, arena), estas viven por largos períodos, cuando pasan a la fase adulta cambian de hábitat pasando de acuáticos a terrestres. Constituyen excelentes indicadores de calidad de aguas limpias y frías, sin embargo, existen especies que suelen ser tolerantes a aguas contaminadas con materia orgánica y estas mismas a altas temperaturas. Comprende uno de los mejores grupos de indicadores de calidad de aguas limpias junto a los efemerópteros y plecópteros.
Megaloptera	Sus larvas viven en asociación con piedras en áreas de corrientes de ríos y quebradas, su desarrollo puede durar hasta varios años, sin embargo, su etapa adulta es relativamente corta. Además de ser poco diversas, pueden tolerar niveles intermedios de contaminación orgánica.
Díptera	Es uno de los más abundantes y diversos, la mayoría de estas especies son indicadoras de aguas contaminadas, principalmente Chironomidae. Existen especies que soportan ciertos niveles de contaminación como Syrphidae y Ephydriidae. Existen familias como las Blephariceridae que son indicadores de aguas limpias y claras.
Plecoptera	Es un grupo de poca diversidad en Centroamérica, que vive en aguas claras y muy limpias, consideradas como excelentes indicadores de buenas calidades de agua, frías y bien oxigenadas.

Fuente: (Pérez, Los macroinvertebrados como indicadores biológicos del agua, 2012



El uso de los macro invertebrados acuáticos, y muy especialmente los insectos, como indicadores de la calidad de las aguas de los ecosistemas acuáticos 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 descritas también en muchos libros y manuales (Chapman, 1996) y forma parte de la legislación de muchos estados (Narcís Prat, 2009)

Los macro invertebrados son los organismos más ampliamente usados como bioindicadores en la actualidad por diversas circunstancias (Resh, 1984), incluyendo las que se enlistan a continuación:

1. Tienen una amplia distribución (geográfica y en diferentes tipos de ambientes).
2. Constituyen una gran riqueza de especies con gran diversidad de respuestas a los gradientes ambientales.
3. En su mayoría son sedentarios, lo que permite un análisis espacial de la contaminación.
4. Es posible utilizar su reacción de huída como indicador de contaminación.
5. Poseer ciclos de vida largos (algunas especies) integra los efectos de la contaminación en el tiempo.
6. Pueden ser muestreados de forma sencilla y económica.
7. Poseen una taxonomía conocida a nivel de orden, familia y género.
8. La sensibilidad bien conocida de muchas taxa a diferentes tipos de contaminación.
9. Es posible utilizar más de una especie en estudios experimentales sobre los efectos de la contaminación.

El uso de los bioindicadores a nivel de comunidad requiere la transformación de los datos (presencia o abundancia de los diferentes taxa) en alguna expresión sintética de los mismos, como el número total de taxa o la diversidad, entre otras. A estas expresiones se les llama comúnmente "métricas" y pueden ser, cualitativas (por ejemplo, número total de taxa) o cuantitativas. Esta última categoría incluye tanto las que usan datos semicuantitativos (como rangos de abundancia o la abundancia relativa) o las que operan con datos de abundancia absoluta (como individuos por metro cuadrado o individuos recolectados por unidad de



tiempo). La mayor parte de las métricas aplicadas en el estudio de los macro invertebrados utilizan como factor clave la tolerancia de los diferentes taxa a una perturbación determinada, normalmente la contaminación orgánica (Narcís Prat, 2009)

A este nivel las ventajas de los macro invertebrados descritas anteriormente se mantienen y por lo tanto su uso a este nivel es el que se recomienda en muchos de los protocolos de estudio de los países que los utilizan como indicadores de calidad biológica de forma reglamentada. En las circunstancias actuales, el uso a nivel de familia parece el que puede ofrecer más ventajas en América del Sur (Narcís Prat, 2009)

Biological Monitoring Working Party (BMWP)

En 1970 el BMWP estableció en Inglaterra un método simple de puntaje para todos los grupos de macro invertebrados acuáticos identificados hasta nivel de familia y que requiere sólo datos cualitativos (presencia/ausencia). Con este sistema de puntuación era posible comparar la situación relativa entre estaciones de muestreo (Alba, 1996).

El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (Average Score per Taxon) esto es, el puntaje total BMWP dividido por el número de los taxa; es un índice valioso para la evaluación del sitio. (Guevara, 2020)

Los organismos de las muestras obtenidas en las capturas en campo se identifican taxonómicamente a nivel de familia, con base en el inventario realizado se asigna el puntaje correspondiente a cada familia y mediante la sumatoria se obtiene el valor del índice BMWP. El valor del Biological Monitoring Working Party (IBMWP) determina la calidad del agua (Guevara, 2020)

Los rangos de clasificación de agua según el índice BMWP tiene un significado y un color, como lo describe el cuadro número 4 a continuación.



Cuadro 4 Clasificación de calidad de agua con el índice BMWP.

Clase	Calidad	BMWP	Significado	Color
I	Buena	> 150 (101-120)	Aguas muy limpias, no contaminadas o poco alteradas	Azul
II	Aceptable	61-100	Se evidencian efectos de la contaminación	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Ambar
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	Rojo

Fuente: Adaptado de Roldán-Pérez, 2016

Los organismos de las muestras obtenidas en las capturas en campo se identificaron taxonómicamente a nivel de familia, con base en el inventario realizado se asigna el puntaje correspondiente a cada familia y mediante la sumatoria se obtiene el valor del BMWP. Los puntajes a cada familia van de numero 1 al 10, como lo describe el cuadro no 5

Cuadro 5 Puntajes de las familias de macro invertebrados acuáticos para el índice BMWP/Co.

Familias	Puntaje
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidriidae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelphusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae	7



Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolicopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	2
Tubificidae	1

Fuente: Adaptado de Roldan 2016

Índice de Shannon- Weaver

Por su parte, el índice de Shannon proporciona un sistema coherente para la estimación de la diversidad que proporciona un número igual al número de especies e incluye la medida más simple de riqueza de especies, es decir, el número de especies en la muestra. Bajo este contexto nos dice indican que este índice registra valores de 0 a 5, donde 0 es cuando hay diversidad baja y 5 diversidad alta. (Omar Perez, 2021)

Los parámetros de clasificación de Shannon se categorizan en diversidad alta, media y baja como se describe en el cuadro 6

Cuadro 6 parámetros de clasificación de Shannon se categorizan en diversidad alta, media y baja

H'	Condición
a >2.7	Diversidad Alta
1.5 – 2.7	Diversidad media
<1.5	Diversidad baja

Fuente: Omar Perez, 2021

El índice de diversidad de Shannon-Weaver (H'), que expresa la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa (Shannon, 1948; Castellanos-Bolaños et al., 2008). (Eduardo Manzanilla Quijada, 2020)

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)$$

Donde:

S = Número de especies presentes

\ln = Logaritmo natural

p_i = Proporción de los individuos hallados de la especie i ; se calcula mediante la relación (n_i / N)

n_i = Número de individuos de la especie i

N = Número total de individuos

Índice de Simpson

Los ecólogos, biólogos que estudian las especies en su ambiente, están interesados en la diversidad de especies de los hábitats que estudian. Esto se debe a que la diversidad suele ser proporcional a la estabilidad del ecosistema: cuanto mayor es la diversidad, mayor es la estabilidad. (Lifeder, 2020)

Las comunidades más estables tienen un gran número de especies que se distribuyen de manera bastante uniforme en poblaciones de buen tamaño. La contaminación a menudo reduce la diversidad al favorecer a unas pocas especies dominantes. La diversidad es, por lo tanto, un factor importante en la gestión exitosa de la conservación de especies. (Lifeder, 2020)

El índice de diversidad de Simpson (D), que estima si una comunidad determinada está compuesta por especies muy abundantes, ya que suma las abundancias de cada una al



cuadrado y así, les da importancia a los taxones con alto valor (Lamprecht, 1962). (Eduardo Manzanilla Quijada, 2020)

$$D = \sum P_i^2$$

Donde:

P_i = Proporción de las especies i en la comunidad (n_i / N)

n_i = Número de individuos de la especie i

N = Número total de individuos

El índice es una representación de la probabilidad de que dos individuos, dentro de una misma región y seleccionados al azar, sean de la misma especie. El rango del índice de Simpson va de 0 a 1, así:

- Cuanto más se acerca el valor de D a 1, menor es la diversidad del hábitat.
- Cuanto más se acerca el valor de D a 0, mayor es la diversidad del hábitat.

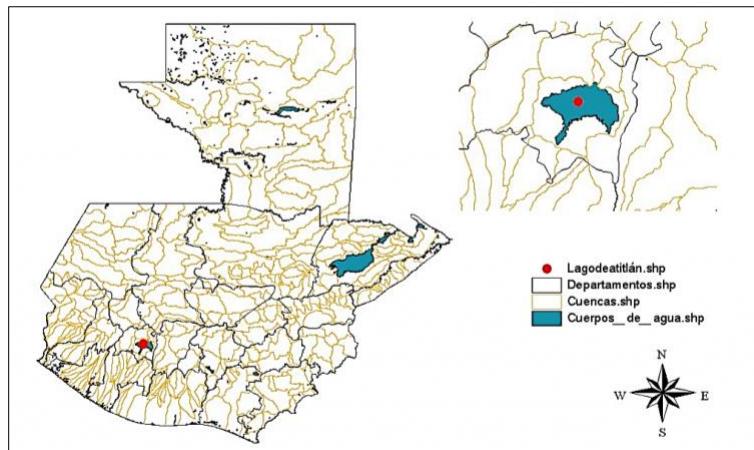
Es decir, cuanto mayor es el valor de D , menor es la diversidad. Esto no es fácil de interpretar de manera intuitiva y podría generar confusión, razón por la cual se llegó al consenso de restar el valor de D a 1, quedando de la siguiente manera: $1 - D$. (Lifeder, 2020)

Ubicación

El lago de Atitlán se encuentra ubicado en los Municipios de Panajachel, Santa Catarina Palopó, San Antonio Palopó, San Lucas Tolimán, Santiago Atitlán, San Pedro La Laguna, San Juan La Laguna, San Pablo La Laguna, San Marcos La Laguna, Santa Cruz La Laguna y Sololá, del Departamento de Sololá, Guatemala. A una Latitud Norte de $14^{\circ}42'02''$ y una Longitud Oeste de $91^{\circ}11'48''$ a una elevación de 1,562 msnm (Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo Centroamericano, 2017).

Este lago posee un espejo de agua de 125.7 km², el área de la cuenca es de 548 km² con una profundidad máxima de 318 metros. Este cuerpo de agua brinda el hábitat para muchas especies de peces, aves, reptiles y plantas entre otros. En la figura 3 muestra la ubicación del lago de Atitlán en Guatemala y el departamento de Sololá.

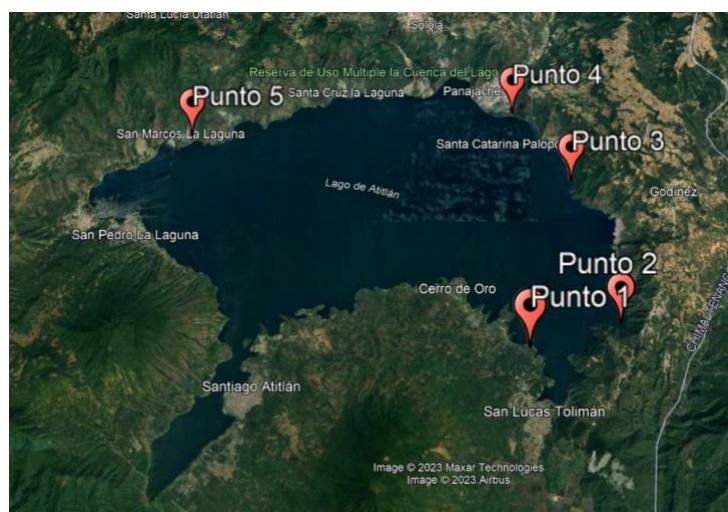
Figura 3 Ubicación del lago de Atitlán



Fuente: de Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo Centroamericano, 2017

La ubicación de los puntos de muestreo está representada en la siguiente figura 4 numero

Figura 4 Ubicación de los puntos de muestreo



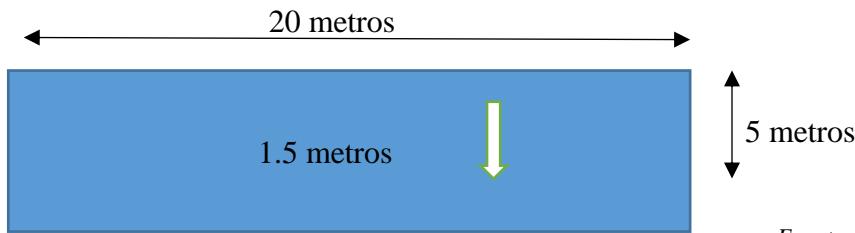
Fuente: Propia, 2023

Puntos de muestreo

Se determinaron 5 masas tulares que contaran con las siguientes características, como puede observarse en la figura 5

1. 20 metros de largo
2. 5 metros de ancho
3. 1.5 metros de profundidad.

Figura 5 Dimensiones del punto de muestreo



Fuente: Propia, 2023

En estas masas tulares resaltan las propiedades físicas del agua y la estructura de otras comunidades bióticas debido al intercambio entre el ecosistema terrestre y acuático.

Se identificaron masas tulares con las características descritas y luego se hizo un análisis de la calidad de la masa tular, en este análisis se contó con la participación de la directora del centro de investigación y calidad de agua Dica y la encargada del tul ambas de la institución AMSCLAE.

La calidad de la masa tular basado en dos índices: (1) % de eficiencia de crecimiento, y (2) % de pérdida de masa tular, dando como resultado los municipios que presentan mejor calidad de masa tular son Santa Catarina Palopó Panajachel, San Antonio, Santiago Atitlán y San Marcos la Laguna.

De manera que esta información sirvió como base para la selección y criterio para los puntos de muestreo en la investigación para saber qué condiciones están afectando la pérdida de las



masas tulares y la calidad de agua que se encuentra en las mismas. Dichos sitios de muestreo se detallas en el siguiente cuadro número 7.

Cuadro 7. Ubicación de lugar y sitios de muestreo.

No.	Municipio	Sitio de muestreo	Coordinada en X	Coordinada en Y	Incidencia de actividades humanas
1	Santiago Atitlán	Cerro de Oro	428911	1621779	Regular
2	San Antonio Palopó	Chicamán	433597	621243	Poca
3	Santa Catarina Palopó	Casco Urbano	431785	1627701	Alta
4	Panajachel	Tzanjuyú	430035	1629195	Alta
5	San Marcos la Laguna	Hotel el Dragon	418745	1628218	Regular

Fuente: Propia, 2023

Temporalidad

El período de ejecución de este estudio fue de 7 meses. Se realizaron 2 muestreos con la finalidad de poder hacer el análisis más representativo debido a la variación de las 2 épocas del año de nuestro país.

- Primer muestreo: se realizó un muestreo durante la época de verano (marzo)
- Segundo muestreo un muestreo una época de invierno (septiembre)

La duración de muestreo de macro invertebrados fue de 20 minutos por cada sitio de muestreo, es decir aproximadamente 60 minutos por cada lugar de muestreo sin contar la movilización a cada municipio.



Capítulo IV: Discusión de resultados

a. Primer muestreo

Lugar de muestreo: Santiago Atitlán

Sitio de muestreo: Cerro de Oro

Código de muestra: M1 y M2

Para las muestras recolectadas en Santiago Atitlán cuyo sitio de muestreo es una bahía y de regular actividades antropogénicas, los resultados permiten observar como el ecosistema del tul influye en los aspectos físicos y químicos, por ejemplo en las Muestra 2 la temperatura es menor a la Muestra 1, quiere decir que este ecosistema ayuda a regular la temperatura del agua aspecto que toma relevancia debido a que el aumento en la temperatura es uno de los detonante las el florecimiento de la cianobacteria, el cual es uno de los principales problemas del lago de Atitlán. De la misma manera la saturación de oxígeno muestra un aumento en las muestras tomadas dentro del tul, por lo cual podemos analizar que es debido a la producción de oxígeno de la misma planta y que seguidamente aporta al lago. Para el caso del pH existe una disminución de 0.14 con respecto a las 1, mostrando que el pH del ecosistema del tul es más ácido que el agua fuera de él. Para el caso del oxígeno disuelto es mayor en el ecosistema del tul derivado de la misma producción de oxígeno de la planta, en donde no mostró diferencia significativa es en los sólidos disueltos totales cuyo valor se mantuvo la misma cantidad de materia orgánica disuelta en los 2 ecosistemas. Existe un dato particular que se observa mayor concentración de fosfatos y una disminución de los nitritos dentro del ecosistema del tul, puede que el tul este cumpliendo un papel de fijación de Fosforo en su ecosistema.

Las muestras de macro invertebrados recolectados muestran mayor número de individuos en el ecosistema del tul, la muestra 2 arroja un valor de 34 cuya clasificación del agua es dudosa y la muestra 1 arroja un valor de 20 cuya clasificación es dudosa, lo cual significa aguas moderadamente contaminadas, además vemos una diferencia de al menos 50% de las especies en donde no existe el ecosistema del tul. La presencia de odonatos expresa los



principales indicadores de calidad de aguas entre limpias y medianamente contaminadas con materia orgánica, es necesario decir que unas especies tienden a ser más tolerantes a contaminación de niveles más altos.

Para los índices de Shannon la muestra 1 y la muestra 2 mostraron la misma clasificación de baja diversidad debido a la poca cantidad de especies, el valor fuera del tul fue 0.3668 es decir que la muestra tomada en ese ecosistema es menos diversa. Para los índices de Simpson la muestra 1 tiene un valor menor al 0.5 cuya diversidad es clasificada como alta por tanto tiende a ser más estables y la muestra 2 también derivado tiene un valor de 0.577

Lugar de muestreo: San Antonio Palopó

Sitio de muestreo: Chicamán

Código de muestra: M3 Y M4

Chicamán está ubicado en San Antonio Palopó en una zona con poca incidencia humana, el análisis físico del agua mostro datos que muestra una leve diferencia de 0.02 grados centígrados fuera del tul, además de mostro un aumento en la concentración de oxígeno de 0.9 % mayor dentro del tul, el pH sigue siendo menor adentro del tul, en el caso del oxígeno disuelto es mayor por 0.19 mg/L al que se encuentra fuera del tul, estas muestras también encontramos el mismo valor de sólidos disueltos totales en los 2 ecosistemas. Con respecto a los nitritos el valor es mayor dentro del tul, probablemente por los mismos requerimientos de la planta para su crecimiento y desarrollo y con los fosfatos solo existe una diferencia de 0.01mg/L entre los 2 tipos de ecosistemas.

El índice de BMWP para el ecosistema fuera del tul en este Sitio es de 16 con una clasificación de agua crítica que significa aguas muy contaminadas. y dentro del tul el valor es de 38 dando una clasificación del agua de tipo dudosa que significa moderadamente contaminada.



Para los índices de Shannon el ecosistema del tul ambos muestran una clasificación de las muestras tomadas en ese ecosistema es diversidad media derivado que el valor que obtenido es mayor 1.5 como lo indica en la teoría (Omar Perez, 2021)

En el caso de los índices de Simpson el ecosistema del tul muestra una clasificación de baja derivado debido a que el valor es mayor a 0.5 quiere decir que este ecosistema es más propenso a mantener su estabilidad y sus familias más abundantes son *Thiaridae*, *Lymnaidae* y *Hyalellidae*. La presencia de *Amphipoda* indica aguas limpias con leve resistencia a contaminación.

A pesar que según el índice de Shannon la diversidad es baja, según BMWP la calidad del agua dentro del tul es mejor que fuera de su ecosistema.

Lugar de muestreo: Santa Catarina Palopó

Sitio de muestreo: Casco urbano

Código de muestra: M5 Y M6

El sitio de muestreo de Santa Catarina Palopó la incidencia humana es bastante agresiva, ya que es un sitio en donde los canales de aguas grises llegan directamente al lago, además muchas personas utilizan estas playas como lavaderos municipales sin ningún tipo de regulación que influyen directamente en la calidad del agua y en las especies que la habitan, de esta manera podemos observar como el tul sirve de regulador de temperatura debido a que la misma sobre que genera hace que la temperatura del agua sea menor, sigue mostrando el patrón de tener mayor saturación de oxígeno disuelto en su ecosistema aunque en este caso el pH es mayor dentro del tul y no afuera por una diferencia de 1.05 entre ambos. En el caso del oxígeno disuelto sigue siendo mayor en el ecosistema del tul y solo existió una diferencia mínima entre la cantidad de sólidos disueltos encontrados. Para el caso del nitrito es menor dentro del tul al igual que los fosfatos.



En los índices de BMWP es mayor dentro del tul con un valor de 27 y 20 fuera del tul, a pesar de una diferencia de 7 la clasificación para estos ecosistemas es crítica para ambas, dando como significado aguas muy contaminadas, derivado de actividades antrópicas en el lugar.

En los índices de Shannon que los valores de las 2 muestras son menores a 2, por lo tanto tiene una clasificación de baja diversidad y para los índices de Simpson también ambos son menores a 0.5 por lo tanto su clasificación es de alta diversidad ambos ecosistemas, es decir que son ecosistemas propensos a mantener su estabilidad.

Las familias más abundantes para el ecosistema del tul son *Hyalellidae*, *Lymnaidae* y *Thiaridae*. La presencia de *Amphipoda* son indicadores de aguas limpias que toleran cierto grado de contaminación.

A pesar de que el índice de Shannon determina una baja diversidad dentro del tul, es decir que está más propenso a mantener su estabilidad y el índice de Simpson determinó que la diversidad es alta.

Lugar de muestreo: Panajachel

Sitio de muestreo: Jucanyá

Código de muestra: M7 Y M8

Jucanyá en Panajachel también es un sitio de muestreo con alta incidencia humana, a pesar de que no se permite lavar en las orillas, si tiene conexiones de drenajes y de aguas grises que se vierten directamente en el lago, además la cantidad de basura que se encuentra en este sitio es bastante notable, este tipo de condiciones influyen directamente sobre las condiciones del agua y sus especies habitantes.

En estas muestras la temperatura mantiene esa disminución en el ecosistema del tul, la saturación de oxígeno es mayor dentro del tul también, el pH en este caso es mayor fuera del tul y el oxígeno disuelto también se mantiene siendo mayor en el ecosistema del tul. No existe



diferencie en la cantidad de sólidos disueltos totales en las 2 muestras tomadas, los nitritos NO₃ son menores adentro del tul y los fosfatos PO₄ son mayor adentro del tul.

Para los valore de BMWP dentro del tul es de 23 cuya clasificación de calidad de agua crítica que significa aguas moderadamente contaminadas y fuera del tul el valor es de 12 cuya clasificación es de muy crítica que significa aguas muy contaminadas.

En Panajachel el sitio de muestreo también es un sitio con alta incidencia humana, en este sitio se encuentra una tuvo de aguas servidas directamente al lago, el uso excesivo de transporte lacustre y en algunos casos el arranque del tul por el rechazo erróneo de algunos residentes del lugar.

La presencia de odonatos indica aguas limpias con moderada contaminación, aunque algunas especies son resistentes a grados de contaminación, cabe mencionar que solo un odonato fue encontrado en el ecosistema del tul.

El índice de Shannon que las muestras tomadas en estos dos ecosistemas son de diversidad baja y con respecto a los índices de Simpson ambos indican una alta diversidad derivado a que su valor es menor de 0.5 según la teoría según (Omar Perez, 2021) es decir son ecosistemas propensos a perder su estabilidad.

Lugar de muestreo: San Marcos la Laguna

Sitio de muestreo: Hotel el Dragón

Código de muestra: M9 y M10

En San Marcos la Laguna el sitio de muestreo también es un sitio con regular incidencia humana, en este sitio se encuentra una tuvo de aguas servidas directamente al lago, el uso excesivo de transporte lacustre y en algunos casos el arranque del tul por el rechazo erróneo de algunos residentes del lugar. En este sitio la temperatura es igual tanto dentro como fuera del tul, la saturación de oxígeno e mucho mayor adentro con un valor de 117.5, también en este caso el pH es mayor afuera por una diferencia de 0.05, en el caso del oxígeno disuelto



es mayor adentro del tul con un valor de 8.21mg/L y fuera con 7.91 mg/L, pero en este caso la cantidad de sólidos disueltos totales fue mayor fuera del ecosistema del tul. El comportamiento de los nitritos NO₃ es menor dentro del tul y los fosfatos son mayores también dentro del ecosistema del tul.

Para los valores de BMWP los valores fueron 28 para adentro del tul y 20 fuera del tul, cuya clasificación es de calidad del agua critica, lo que significa aguas muy contaminadas para ambos ecosistemas. La presencia de *Amphipoda* indica aguas limpias pero algunas especies son resistentes a cierto grado de contaminación.

Los índices de Shannon para la muestra dentro del tul es 1.55 cuya clasificación es media y la diversidad de la muestra fuera del tul es de 0.84 por ende la clasificación del agua es baja, con respecto a los índices de Simpson los valores son 0.7757 adentro del tul y 0.56 fuera del tul, a pesar de las condiciones en donde se encuentra este ecosistema la clasificación del ecosistema según Simpson es de baja diversidad, es decir que este ecosistema es más propenso a perder su estabilidad.

b. Segundo muestreo

Lugar de muestreo: Santiago Atitlán

Sitio de muestreo: Cerro de Oro

Código de muestra: M1 y M2

Los resultados para las muestras tomadas en Santiago Atitlán reflejan que la temperatura es menor adentro del ecosistema del tul, la saturación de oxígeno también sigue siendo mayor dentro del tul, también el pH mantiene su comportamiento de ser menor adentro del tul, así mismo el oxígeno disuelto sigue siendo mayor con un valor de 7.67 mg/L, la cantidad de sólidos disuelto totales en igual en ambas muestras Para el comportamiento de los nitritos es mayor fuera del tul con un valor de 0.01799 mg/L, y el comportamiento del fosforo sigue



siendo el del primer muestreo, en donde las concentraciones de fosfatos son mayor dentro del ecosistema del tul.

Los índices de BMWP dentro del tul es 44 con una clasificación dudosa lo que indica aguas moderadamente contaminadas y fuera del tul 19 con una clasificación critica, lo que significa aguas muy contaminadas. La presencia de odonatos indica agua entre limpia y moderadamente contaminada.

Los índices de Shannon para las muestras recolectadas ambas tienen una clasificación de diversidad baja debido a que ambos valores son menores a 2, pero el valor dentro del tul es mayor, es decir la muestra era más diversa. Para el caso de índice de Simpson ambas tienen una clasificación de diversidad baja debido a que el valor es mayor a 0.5 en donde ya se considera una baja diversidad.

Lugar de muestreo: San Antonio Palopó

Sitio de muestreo: Chicamán

Código de muestra:M3 y M4

Para las muestras recolectadas durante la época de invierno en el municipio de San Antonio Palopó, cuya incidencia humana es baja, no se observa basura en las playas y poca afluencia de transporte lacustre. La temperatura en el ecosistema del tul se mantiene siendo menor, encontramos que en este caso en particular la saturación de oxígeno es mayor fuera del tul al igual que el pH, el oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales es mayor fuera del tul, la concentración de nitrito fue mayor dentro del tul y los fosfatos siguen con la misma dinámica de ser mayor dentro del ecosistema del tul.

Los índices de BMWP en el caso dentro del tul fue de un valor de 41 cuyo valor es dudosa lo que significa aguas moderadamente contaminadas y fuera de tul el valor es 28, cuya clasificación de agua critica lo que significa agua muy contaminada. La presencia de odonatos indica agua entre limpia y moderadamente contaminada.



El índice se Shannon dentro del tul tiene media diversidad debido el valor es mayor a 1.5, sus familias con mayor abundancia fueron *Thiariidae*, *Coenagryoniidae*, *Hyalellidae* y *Planorbiidae*. En el caso de los índices de Simpson ambos tienen alta diversidad debido a que ambos valores son menores a 0.5 como indica la teoría (Omar Perez, 2021) es decir son ecosistemas que tienen a mantener su estabilidad.

Lugar de muestreo: Santa Catarina Palopó

Sitio de muestreo: Casco urbano

Código de muestra: M5 Y M6

En el segundo muestreo que se hizo en el casco urbano de Santa Catarina Palopó, los resultados muestran que la temperatura también se mantiene menor dentro del ecosistema del tul, la saturación de oxígeno a la diferencia del primer muestreo es mayor a fuera que adentro, los datos que tiene el mismo valor es un pH de 8.13, oxígeno disuelto a 8.13 mg/L y un valor de sólidos totales de 228 para ambos. Para los nitritos las muestras indican que los nitritos son mayores fuera de ecosistema del tul y los fosfatos siguen siendo mayor dentro de este ecosistema. Los valores de BMWP son para el ecosistema del tul un valor de 36 cuya clasificación de la calidad del agua es dudosa lo que significa aguas moderadamente contaminadas y para el ecosistema fuera de tul un valor de 24 cuya clasificación de la calidad del agua Critica. La presencia de odonatos y de efemerópteros indican aguas limpias y corrientes concierto grado de contaminación.

Para los índices de Shannon las muestras recolectadas para el ecosistema del tul y fuera de él es baja diversidad derivado que los valores son menores a valor de 2. En cuanto a los índices de Simpson para el ecosistema del tul es diversidad baja y para el ecosistema fuera del tul es de clasificación de alta diversidad debido a que es menor de 0.5 es decir que es un ecosistema que tiende a mantener su estabilidad.



Lugar de muestreo: Panajachel

Sitio de muestreo: Jucanyá

Código de muestra: M7 y M8

En sitio de muestreo del municipio de Panajachel es uno de los dos puntos más contaminados de los 5 municipios, los resultados de las muestras indican que la temperatura sigue siendo menor dentro del tul al igual que en la mayoría de los demás sitios, de la misma manera la saturación de oxígeno, el oxígeno y los sólidos disueltos totales los valores son mayores dentro de este ecosistema. Con respecto a los nitritos también son mayores a fuera que dentro de la misma manera los fosfatos.

El valor de BMWP dentro del tul con las especies encontradas fue de 34 cuya clasificación del agua es crítica que significa aguas muy contaminadas y para el caso del BMWP fuera del tul es de 13 cuya clasificación de muy crítico que significa aguas fuertemente contaminadas en situación crítica., es la clasificación alta de contaminación.

El índice de Shannon para el tul ambos tienen un valor menor a 2 por tanto su diversidad es baja y por otro lado el índice de Simpson como ambos valores son arriba de 0.5 por tanto su diversidad es baja también, es decir son ecosistemas con tendencia a perder su diversidad.

Lugar de muestreo: San Marcos la Laguna

Sitio de muestreo: Hotel el Dragón

Código de muestra: M9 y M10

En segundo muestreo del municipio de San Marcos la Laguna brindo los siguientes resultados en donde la temperatura se mantiene siendo mayor dentro del tul, el pH sigue siendo menor dentro del tul, el oxígeno disuelto en este caso es mayor fuera del tul, los datos de sólidos disueltos totales es el mismo para ambos ecosistemas 229. Respeto a los nitritos y fosfatos existe mayor concentración dentro del ecosistema del tul. El índice BMWP para el ecosistema del tul es de 27 cuya clasificación indica una calidad del agua crítica lo que



significa aguas muy contaminadas y fuera del ecosistema del tul es de 15 cuya clasificación de muy crítica lo que significa aguas fuertemente contaminadas, esta es la clasificación alta de contaminación.

Con respecto a los índices de Shannon para ambos ecosistemas es de biodiversidad baja debida a que no supera el valor de 2 y para los índices de Simpson el ecosistema de tul tiene un valor de 0.3797 lo cual lo clasifica con un ecosistema con diversidad alta, es decir que es un ecosistema que tiene más posibilidades de mantener su estabilidad.

El comportamiento de las propiedades físicas y químicas dentro del ecosistema del tul se describen en el cuadro 8.

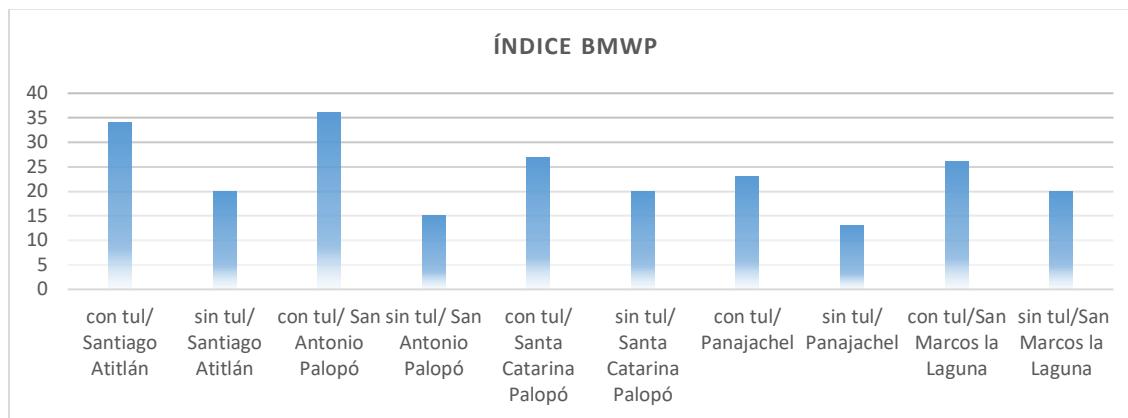
Cuadro 8 comportamiento de las propiedades físicas y químicas dentro del ecosistema del tul

Propiedad del agua en el ecosistema del agua	Comportamiento de la propiedad en el ecosistema del tul	Clasificación del agua según BMWP	Significado
Temperatura °C	Menor grados centígrados dentro del tul	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas
Saturación de oxígeno %	Es mayor concentración dentro del tul		
Ph	Regularmente mayor a dentro del tul		
Oxígeno mg/L	Mayor concentración de oxígeno disuelto		
Sólidos Disueltos Totales	No existe diferencia significativa entre ambos ecosistemas.		
NO3	Las concentraciones de nitratos son mayores fuera del ecosistema del tul.		
PO4	Dentro del tul se encontraron las mayores concentraciones de fosfato.		

Fuente: Propia, 2023

Durante el primer monitoreo los sitios de muestreo que mayor índice BMWP fueron San Antonio Palopó y Santiago Atitlán con la mejor calidad de agua en su ecosistema, los resultados de todos los sitios de muestreo los a conocer la siguiente grafica 1.

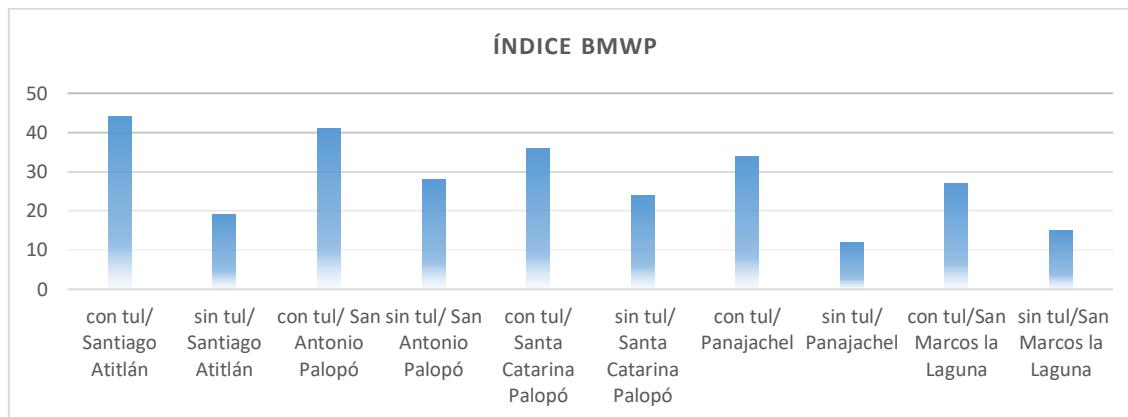
Gráfica 1 Índice BMWP para primer muestreo



Fuente: Propia, 2023

Durante el primer monitoreo los sitios de muestreo que mayor índice BMWP fueron San Antonio Palopó y Santiago Atitlán, con mejor calidad de agua en su ecosistema, los resultados de todos los sitios de muestreo los a conocer la siguiente grafica número 2

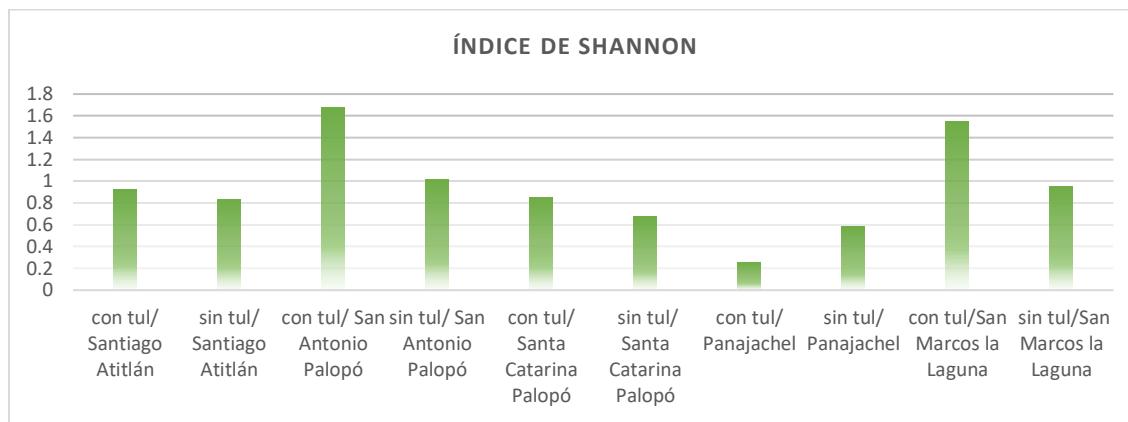
Gráfica 2 Índice BMWP para el segundo muestreo



Fuente: Propia, 2023

En el primero muestreo los ecosistemas con tul de mayor diversidad de Shannon y mayor estabilidad fueron San Antonio Palopó y San Marcos la Laguna que son los municipios con poca y regular actividades antropogénicas. Los de menor diversidad y estabilidad Panajachel y Santa Catarina Palopó en donde los niveles de contaminación son más elevados por las actividades antropogénicas. Los resultados de Shannon de todos los sitios de muestreo los a conocer la siguiente grafica número 3.

Gráfica 3 Índice Shannon para el primer muestreo

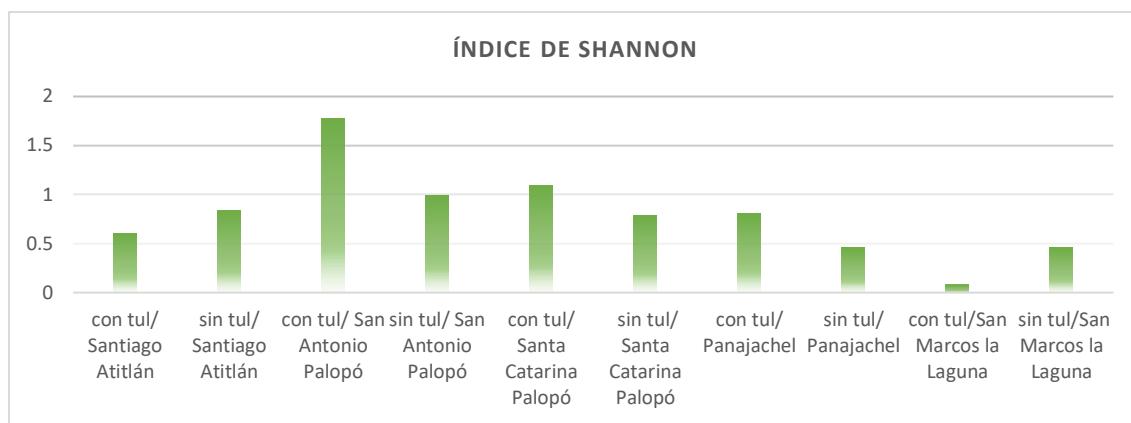


Fuente: Propia, 2023

En el segundo muestreo los ecosistemas con tul de mayor diversidad de Shannon y mayor estabilidad fue San Antonio Palopó y Santa Catarina Palopó sitios de muestreo con poca y altas actividades antropogénicas respectivamente, el municipio de menor diversidad y estabilidad San Marcos la Laguna y Panajachel en donde los niveles de contaminación son más elevados por las actividades antropogénicas.

Los resultados de Shannon de todos los sitios de muestreo los a conocer la siguiente grafica número 4

Gráfica 4 Índice de Shannon para el segundo muestreo

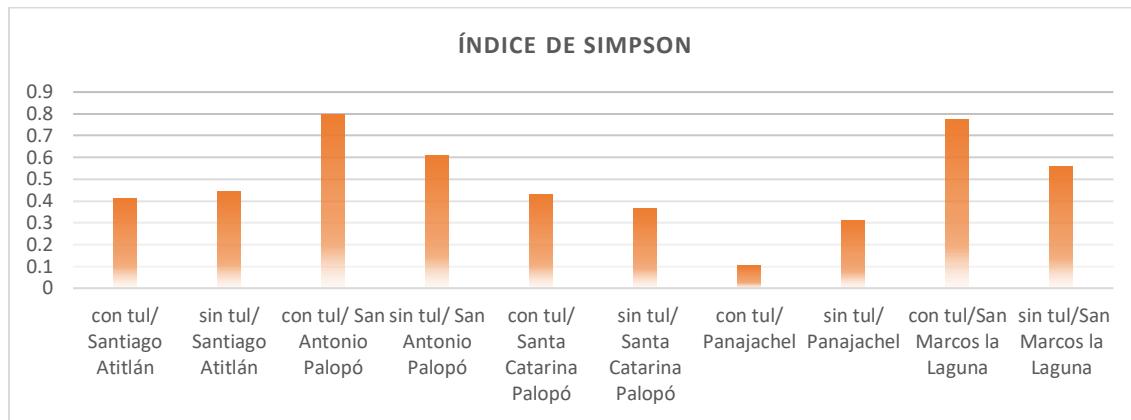


Fuente: Propia, 2023

Los ecosistemas de tul mayor diversidad según el índice de Simpson fueron Santiago Atitlán, Santa Catarina y Panajachel con mejor diversidad biológica, es decir son ecosistemas con mayor posibilidad a mantener su diversidad.

Los resultados de Simpson de todos los sitios de muestreo los a conocer la siguiente grafica número 5.

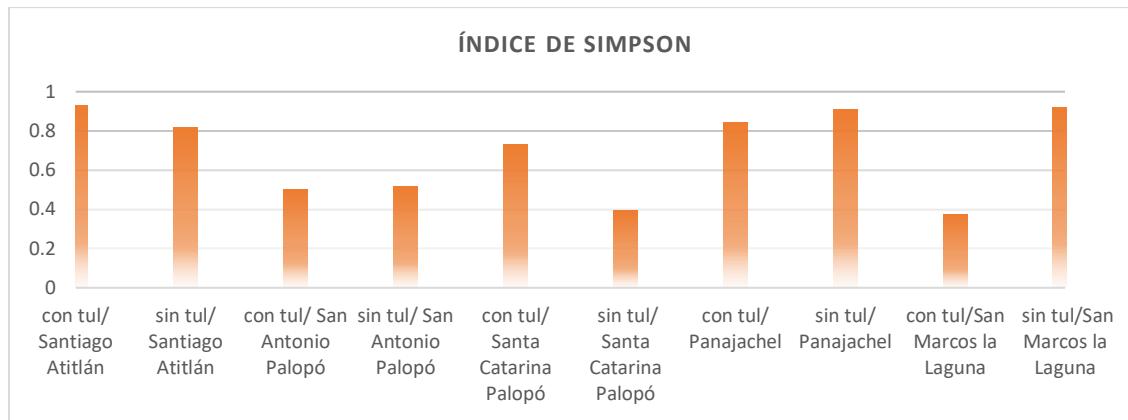
Gráfica 5 Índice Simpson para el primer muestreo.



Fuente: Propia, 2023

Los ecosistemas de mayor diversidad según el índice de Simpson San Antonio y San Marcos la Laguna, es decir son ecosistemas con mayor posibilidad a mantener su diversidad Los resultados de Simpson de todos los sitios de muestreo los a conocer la siguiente grafica número 6.

Gráfica 6 Índice de Simpson para el segundo monitoreo.



Fuente: Propia, 2023



Capítulo VI: Formulación de la tesis

Los resultados de la investigación indican clara y contundentemente que las masas tulares del lago de Atitlán tienen un efecto positivo sobre la calidad del agua, mejorándola, lo que ha quedado demostrado cuando se analizan los datos de nutrientes como el fósforo, importante para el proceso de eutrofización, pero que se refuerza con los valores del índice BMWP que indican que las aguas del lago presentan mayor grado de contaminación fuera de masa tular que dentro de la misma, efecto que puede asociarse principalmente a que la masa tular sirve de barrera física a los sedimentos que son arrastrados de las zonas litorales hacia las aguas del lago y por el efecto de la actividad biológica del mismo tul, especialmente de la actividad fotosintética, que permite que las concentraciones de oxígeno disuelto sean mayores dentro de la masa tular, mejorando significativamente la calidad del entorno dentro la misma y por ende el hábitat de muchas especies vinculadas al tul.



Capítulo VII: Conclusiones

1. La calidad del agua en el ecosistema del tul utilizando el índice BMWP está en rango de “Dudosa – Crítica” cabe resaltar que solo fuera el ecosistema fuera del tul tiene una clasificación de agua “Muy crítica” que son aguas muy contaminadas en estado crítico, entre mayor incidencia humana menor cantidad el grado de contaminación del agua es más agresivo, es por ello la importancia de regular las acciones humanas en las zonas litorales del lago ya que estas afectan directamente las condiciones del agua.
2. El valor promedio del BMWP del ecosistema del tul en el lago de Atitlán es de 29 y el valor promedio fuera del tul es de 18, en donde refleja la importancia de conservar este ecosistema ya está siendo habitado por un número mayor de especies de macro invertebrados manteniendo así las cadenas tróficas de las zonas litorales del lago.
3. Según BMWP la clasificación del tul es entre dudosa y crítica lo cual concuerda con las condiciones del agua en que se relacionan principalmente los odonatos, coleópteros, efemerópteros, basomatophora y amphipodos que son indicadores de aguas limpias con moderada resistencia a la contaminación. El ecosistema del tul tiene relación con ciertas condiciones físicas y químicas del agua, como por ejemplo regula y reduce la temperatura del agua, contiene mayores concentraciones de oxígenos y contiene mayores valores de concentración de oxígeno. Las concentraciones de nitritos son mayores fuera del ecosistema del tul, muy probablemente sean menores debido a que usar por la misma masa tular como nutriente y mantener su crecimiento y producción de biomasa. Las concentraciones de fosfato reflejaron mayor concentración dentro del ecosistema del tul, esto sea probable que se deba a que el tul ejerce un efecto de barrera física a los sedimentos que son arrastrados de los litorales hacia las aguas del lago y que debido a que el fósforo es un nutriente muy vinculado a los sedimentos dada su poca movilidad y su poca solubilidad, las concentraciones son más altas dentro de la masa tular, lo que



evita que ese fósforo se mueva hacia el resto del lago contribuyendo a reducir la eutrofización de sus aguas en las zonas litorales del lago.



Capítulo VIII: Recomendaciones

1. La adaptación y aplicación de metodologías cada vez más adaptados a este tipo de ecosistema, podrán permitir tener nuestros propios datos, parámetros, indicadores como país y región. Utilizar métodos de estudios complementarios aparte de los tradicionales, los indicadores biológicos permiten como como las actividades antropogénicas afectan un ecosistema en un tiempo determinado
2. La regulación de las acciones que realiza el ser humano alrededor del lago, de manera que estos ecosistemas en donde la calidad del agua es muy baja, puedan evitar seguir teniendo una clasificación aún más baja por todas las actividades antropogénicas como lavaderos clandestinos, tubos de drenaje y aguas negras, la sobre explotación de las playas y el uso excesivo de transporte lacustre mecánico, ya que son acciones que condicionan directamente la calidad del agua en este tipo de ecosistema. Así mismo la vigilancia y monitoreo en las masas tulares para evitar y concientizar a dueños de terrenos a la orilla del lago sobre el corte y destrucción de las masas tulares en las zonas litorales del lago.
3. El involucramiento de instituciones gubernamentales y no gubernamentales, autoridades municipales, locales, ancestrales y sociedad civil en general, para propiciar el fortalecimiento y conservación en los puntos que presentaron mejor calidad de agua y así poder mantener su estabilidad biológica, a su vez también fortalecer las áreas de tul de menor calidad de agua, ya que estos son ecosistemas que están más propensos a perderse.
4. Que exista un aumento de cobertura de este ecosistema en las zonas litorales ya que queda evidenciado como el tul es de gran importancia para el proceso de eutrofización, si se aumenta la cobertura de este tipo de ecosistema las zonas litorales del lago tendrían una mejor calidad de agua y así mismo la estabilidad biológica de todas las cadenas tróficas que están vinculadas a tul.



a. Propuesta técnica

Resumen Ejecutivo

El presente documento refleja la importancia y necesidad de poder fortalecer y conservar el ecosistema del tul, derivado de sus múltiples beneficios que da al lago de Atitlán, 45sí como la metodología a seguir para las actividades como siembra, poda y monitoreo de masas tulares en las zonas litorales del lago, para poder cumplir con las metas que se han propuesto para un lapso de 1 año.

Antecedentes.

Las zonas litorales en donde la siembra y la conservación del ecosistema del tul ha sido propiciada, son zonas con aguas menos contaminadas y con mejor calidad, así mismo las algunas de estas zonas litorales mantienen un alto índice de diversidad biológica en su ecosistema.

En zonas con alta incidencia humana a pesar que la calidad del agua es baja por el impacto antropogénico negativo, el tul demostró que logra mantener una buena diversidad biológica en las especies de su ecosistema.

Justificación

El aumento de cobertura de las masas tulares permitirá que las bondades de este ecosistema puedan ser aprovechadas en las zonas litorales del lago, bondades como el aporte y aumento de oxígeno en el agua, la reducción de la temperatura, la absorción y aprovechamiento de los nitritos para su crecimiento y la retención de fosfatos contenidos en los sedimentos, beneficios que son cruciales para evitar que siga el proceso de eutrofización del lago de Atitlán y que ese cuerpo de agua en el mediano plazo cambie de estado trófico



Objetivos

General:

1. Resguardar y conservación del ecosistema del tul, en las zonas litorales del lago de Atitlán.

Específicos:

1. Ampliar la zona de cobertura del ecosistema del tul, en las zonas litorales del lago de Atitlán, especialmente en aquellas zonas que presenten un nivel de degradación de la calidad del agua considerable generada por efectos de actividad humana.
2. Preservar y manejar los ecosistemas tulares ya establecidos, a través de podas y monitoreos, para garantizar el hábitat de las especies que lo habitan y los beneficios ambientales que generan.

Metas

Las metas programadas para un año de proyecto:

- 3 siembras por cada municipio al año.
- 100 metros lineales de siembra en los 11 municipios con orilla al lago.
- 1,100 metros lineales de siembra en las zonas litorales del lago.
- 50 metros lineales de podas en los 11 municipios con orilla al lago
- 550 metros lineales de poda en masas tulares de las zonas litorales del lago.
- Monitoreo de 1 masa tular por municipio
- Monitoreo 11 masas tulares en las zonas litorales del lago.

Metodología

Fase conceptual:



Elaboración de la propuesta.

Socialización de la propuesta a autoridades municipales y ancestrales.

Reunión de trabajo para socialización y coordinación

Fase metodológica

La fase metodológica es la fase donde se llevan a cabo las actividades para llegar alcanzar los objetivos y las metas planteadas.

Tabla 1 Actividades de la propuesta técnica

Objetivo	Objetivos específicos	Actividades	Descripción
Resguardar y conservar el ecosistema del tul, en las zonas litorales del lago de Atitlán.	La ampliación de la zona de cobertura del ecosistema del tul, en las zonas litorales del lago de Atitlán.	Siembras de tul	<p>Se realizarán siembras de tul dejando 0.5 metro entre cada macolla.</p> <p>Se realizarán siembras con peso y sin peso, eso dependerá del sustrato en cada sitio de siembra.</p>
		Podas de tul	<p>Se realizan corte de las “candelas” a una altura de 0.75 metro a 1 metro de alto.</p>
	La conservación de los ecosistemas ya establecidos, a través de podas y monitoreo.	Monitoreo de masas tulares	<p>Se realizarán visitas a cada masa tular, 1 monitoreo en época de verano y otro en época de invierno</p>

Fuente Propia, 2023



Fase empírica:

Luego de haber realizado las actividades de la fase metodológica, es necesario el procesamiento y análisis de los resultados obtenidos, los cuales se analizarán en base lo siguiente

Para evaluar el % de pegue de siembra en base a:

- Metros lineales sembrados
- Metros lineales actuales

Para evaluar la poda de tul

- Metros lineales podados
- Metros lineales con regeneración vegetativa

Evaluar conservación de la masa tular en base:

- % de crecimiento
- % de perdida

Bibliografía

Alba-Tercedor, J. (1996). *Macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA)*, 2, 203-213.

Alvarez-Arango, L. F. (2005). *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Armenteras, D., Gonzalez, T. M., Vergara, L. K., Luque, F. J., Rodríguez, N. y Bonilla, M. A. (2016). *Revisión del concepto de ecosistema como “unidad de la naturaleza” 80 años después de su formulación*. *Ecosistemas*, 25(1):83-89.

Capeletti, J., Marchese, M. R. y Zilli, F. L. (2021). *Evaluating macroinvertebrate metrics for ecological assessment of large saline rivers (Argentina)*. *Environmental Science and Pollution Research*, 10.1007/s11356-021-16559-7. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16559-7>

Chapman, D. V. (1996). *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. (2nd ed.) E & FN Spon.

CONAP. (2018). Plan maestro Reserva de Uso Múltiple Cuenta del Lago de Atitlán (TUMBLA) 2018-2022. CONAP. chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.marn.gob.gt%2FMultimedios%2F13192.pdf&clen=11808148&chunck=true

Guevara Chávez, F. (2020). *Uso de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad ecológica del agua de la microcuenca del río Pansalic, Reserva Forestal Cerro Alux, Guatemala*. Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología FONACYT.

Granados-Ramírez, J. G., Barragán-Zaragoza, P., Trejo-Albarrán, R. y Martínez-Alaníz, M. (2017). *Macroinvertebrados bentónicos de dos lagos de alta montaña en el estado de Morelos, México*. *Intropica*, 12(1), 41–53. <https://doi.org/10.21676/23897864.2206>

Huaman Matos, L. D. (2019). *Diversidad de macroinvertebrados indicadores de calidad de agua en las lagunas de Pucush Uclo y Ñahuimpuquio – Provincia de Chupaca*.

[Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú].

<http://hdl.handle.net/20.500.12894/5326>

Lifeder. (2020). *Indice de Simpson: Fórmula, Interpretación y Ejemplo*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/indice-simpson/>

MAGA. (2013). *Estudio semidetallado de los suelos del Departamento de Sololá, Guatemala*. Volumen I. MAGA.

Martínez Moreno, D., Alvarado Flores, R., Mendoza Cruz, M., Basurto Peña, F. (2006). *Plantas medicinales de cuatro mercados del estado de Puebla, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 79, 79-87.

Omar Perez, P. M. (2021). *Diagnóstico de la calidad del agua del río jurumbaino mediante*. Polo del Conocimiento

Ortiz, J. R. (2015). *Macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán, Sololá*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fbiblioteca.usac.edu.gt%2Ftesis%2F24%2F24_0174.pdf&clen=3701455&chunk=true

Patrick, R. (1949). *A proposed biological measure of stream conditions, based on a survey of the Conestoga Basin, Lancaster County, Pennsylvania. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 101. DOI: 10.2307/4064427

Prat, N., Rios-Touma, B., Acosta, R. y Rieradevall, M. (2009). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de aguas. En Domínguez, E. y Fernández, H. R. (Ed.), *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos*. Fundación Miguel Lillo.

Reyes, F., Barreno, F., Arriola, I., Martínez, C., Xamínez, N. y Ujpan, D. (2015). *Informe Monitoreo Limnológico 2015*. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE). chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Famsclae.gob.gt%2Fdescargas%2Finformesdica2015%2Flimnologico.pdf&clen=3740621&chunk=true

Reyes Morales, E. M. F. (2014). *Uso de macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad del agua en la cuenca del Lago Atitlán, Guatemala*. [Tesis



de Maestría, Universidad de Costa Rica].

<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/2472>

Reyes-Morales, F. y Springer, M. (2014). *Efecto del esfuerzo de muestreo en la riqueza de táxones de macroinvertebrados acuáticos y el índice BMWP/Atitlán*. *Revista de Biología Tropical*, 62(Suppl. 2), 291-301.

Roldán-Pérez, G. (2016). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica*. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155): 254-274.

Tapia, L., Sánchez, T., Baylón, M., Jara, E., Arteaga, C., Maceda, D. y Salvatierra, A. (2018). *Invertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en lagunas Altoandinas del Perú*. *Ecología Aplicada*, 17(2), 149-163.

<https://dx.doi.org/10.21704/rea.v17i2.1235>

Science, I. J. (2021). *International Journal of Aquatic Science. International Journal of Aquatic Science*, 12(2) (https://www.researchgate.net/profile/Okoye-Chukwuebuka/publication/354237181_Macroinvertebrates_as_Bioindicators_of_Water_Quality_Assessment_in_a_Tropical_Stream/links/61338dda2b40ec7d8be6799a/Macroinvertebrates-as-Bioindicators-of-Water-Quality-Assessmen)

Zúñiga, M. C. (2000). *Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental* Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos y Desarrollo de Suelos - IREHISA. s. l.: s. n.
<https://limnologiauniquindio.files.wordpress.com/2012/08/bmwp-valle-zc3bac3b1iga-m-2009-capitulo-7-bioindicadores-de-calidad-de-agua-y-caudal-ambiental.pdf>



ANEXOS

a. Cuadros de datos y cálculos para índices de bio diversidad.

A continuación, se presentan los cuadros de cálculos de índices biológicos obtenidos durante el segundo muestreo.

Primer muestreo

EL cuadro número 9 detalla los resultados del análisis de agua en Santiago Atitlán.

Cuadro 9 Análisis de agua en Santiago Atitlán.

Santiago Atitlán (Cerro de Oro)	Municipio	Cerro de Oro	Cerro de Oro	Municipio	Cerro de Oro
	Sitio de la muestra	Fuera del tul	Dentro del tul	Sitio de la muestra	Fuera del tul
	Lugar de la muestra	Pahuacal	Pahucal	Lugar de la muestra	Pahucal
	Código de Muestra	M1	M2	Coordenadas en X	428911
	Coordenadas en X	428911	428911	Coordenadas en Y	1621779
	Coordenadas en Y	1621779	1621779		Valor mas alto
	Temperatura °C	23.4	23.36	Temperatura °C	Dentro del tul
	Saturación de oxígeno %	101.5	109.08	Saturación de oxígeno %	Fuera del tul
	pH	8.69	8.83	pH	Fuera del tul
	Oxígeno mg/L	7.18	7.72	Oxígeno mg/L	Fuera del tul
	Sólidos Disueltos Totales	231	231	Sólidos Disueltos Totales	Igual
	NO3	0.19	0.026	NO3	Dentro del tul
	PO4	0.053	0.019	PO4	Fuera del tul

Fuente: Propia, 2023



El cuadro número 10 enlista las familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas Santiago Atitlán.

Cuadro 10 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas Santiago Atitlán.

Municipio	Cerro de Oro	Municipio	Cerro de Oro
Sitio de la muestra	Fuera del tul	Sitio de la muestra	Dentro del tul
Lugar de la muestra	Pahuacal	Lugar de la muestra	Pahucal
Codigo de Muestra	M1	Codigo de Muestra	M2
Especies Encontradas	No. de individuos	Especies encontradas	No. de individuos
Hidrobidae	23	Hyalellidae	84
Thiaridae	2	Calopterygidae	2
Physidae	7	Thiaridae	2
Lymnaidae	1	Physidae	4
		Hidrobidae	3
		Lymnaidae	7

Fuente: Propia, 2023

El cuadro número 11 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de BMWP para Santiago Atitlán.

Cuadro 11 Cálculos para la obtención del valor del índice de BMWP para Santiago Atitlán.

Familia	No. de individuos	Puntuación BMWP	Familia	No. de individuos	Puntuación BMWP
Hidrobidae	23	8	Hyalellidae	84	7
Thiaridae	2	5	Calopterygidae	2	7
Physidae	7	3	Thiaridae	2	5
Lymnaidae	1	4	Physidae	4	3
Calidad del agua	Critica	20	Hidrobidae	3	8
			Lymnaidae	7	4
Calidad del Agua	Dudosa	34			

Fuente: Propia, 2023



El cuadro número 12 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de Shannon y de Simpson para Santiago Atitlán

Cuadro 12 Cálculos para la obtención del valor del índice de Shannon y de Simpson para Santiago Atitlán.

Familia	No. de Individuos	pi	P*I _{pi}	P _i ²	Familia	No. de Individuos	pi	P*I _{pi}	P _i ²
Hidrobiidae	23	0.7188	-0.237	0.5166	hyalellidae	84	0.756756757	-0.21091825	0.57268079
Thiariidae	2	0.0625	-0.173	0.0039	Calopterygidae	2	0.018018018	-0.07236726	0.00032465
Physidae	6	0.1875	-0.314	0.0352	Thiaridae	5	0.045045045	-0.1396438	0.00202906
Lymnaidae	1	0.0313	-0.108	0.0010	Physidae	5	0.045045045	-0.1396438	0.00202906
	32	1	-0.833	0.5566	Hidrobiiidae	8	0.072072072	-0.18955594	0.00519438
-1					Lymnaiidae	7	0.063063063	-0.17428235	0.00397695
Indice de Shannon						111	1	-0.92641139	0.58623488
Indice de Simpson								-1	
Indice de Shannon									1
Indice de Simpson									0.41376512

Fuente: Propia, 2023



EL cuadro número 13 detalla los resultados del análisis de agua en San Antonio Palopó

Cuadro 13 Resultados del análisis de agua en San Antonio Palopó.

San Antonio Palopó (Chicamán)	Municipio	San Antonio Palopó	San Antonio Palopó	Municipio	San Antonio Palopó
	Sitio de la muestra	Fuera del tul	Dentro del Tul	Sitio de la muestra	Fuera del tul
	Lugar de la muestra	Chicaman	Chicaman	Lugar de la muestra	Chicaman
	Código de Muestra	M3	M4	Coordenadas en X	433597
	Coordenadas en X	433597	433597	Coordenadas en Y	621243
	Coordenadas en Y	621243	621243		Valor mas alto
	Temperatura °C	24.8	24.4	Temperatura °C	Fuera del tul
	Saturación de oxígeno %	112.5	111.6	Saturación de oxígeno %	Fuera del tul
	pH	8.89	9.12	pH	Dentro del tul
	Oxígeno mg/L	7.83	7.74	Oxígeno mg/L	Fuera del tul
	Sólidos disueltos totales	232	232	Sólidos disueltos totales	Igual
	NO ₃	0.019	0.02	NO ₃	Fuera del tul
	PO ₄	0.015	0.018	PO ₄	Dentro del tul

Fuente: Propia, 2023

El cuadro número 14 enlista las familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas en San Antonio Palopó.

Cuadro 14 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas San Antonio Palopó.

Municipio	San Antonio Palopó	Municipio	San Antonio Palopó
Sitio de la muestra	Dentro del Tul	Sitio de la muestra	Fuera del tul
Lugar de la muestra	Chicaman	Lugar de la muestra	Chicaman
Especies encontradas	No. de individuos	Especies encontradas	Número de individuos
Thiariadea	11	Hyalellidae	5
Hidrobidae	4	Baetidae	1
Hyalellidae	6	Hidrobidae	4
		Thiaridae	18
		Lymnaidae	12
		Planorbidae	4

Fuente: Propia, 2023



El cuadro número 15 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de BMWP para San Antonio Palopó.

Cuadro 15 Cálculos para la obtención del valor del índice de BMWP para San Antonio Palopó.

Familia	No. de Individuos	Puntuación BMWP	Familia	No. de Individuos	Puntuación BMWP
Thiariadea	11	5	hyalellidae	5	7
Hidrobiidae	4	3	Baetidae	1	7
hyalellidae	6	7	Hidrobiidae	4	8
Calidad del Agua	Critica	15	Thiaridae	18	5
			Lymnaidae	12	4
			Planorbidae	4	5
			Calidad del Agua	Dudosa	36

Fuente: Propia, 2023

El cuadro número 16 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de Shannon y de Simpson para San Antonio Palopó.

Cuadro 16 Cálculos para la obtención del valor del índice de Shannon y de Simpson para San Antonio Palopó.

Familia	No. de Individuos	pi	P*I npi	Pi^2	Familia	No. de Individuos	pi	P*I npi	Pi^2
Thiaria dea	11	0.5238	- 0.33 87	0.2 744	hyalellidae	5	0.1852	- 0.3123	0.0 343
Hidrobiiidae	4	0.1905	- 0.31 59	0.0 363	Baetidae	1	0.0370	- 0.1221	0.0 014
hyalellidae	6	0.2857	- 0.35 79	0.0 816	Hidrobiiidae	4	0.1481	- 0.2829	0.0 219
	21	1	- 1.01 25	0.3 923	Thiariidae	8	0.2963	- 0.3604	0.0 878
-1					Lymnidae	5	0.1852	- 0.3123	0.0 343
Índice de Shannon			1.01 25	1	Planorbidae	4	0.1481	- 0.2829	0.0 219
Índice de Simpson			0.6 077			27	1.0000	- 1.6729	0.2 016

-1



Índice de Shannon	1.6728 6404	1
Índice de Simpson	0.7 984	

Fuente: Propia, 2023

EL cuadro número 17 detalla los resultados del análisis de agua en Santa Catarina Palopó.

Cuadro 17 Análisis de agua en Santa Catarina Palopó.

Santa Catarina Palopó (Casco Urbano)	Municipio	Santa Catarina Palopó	Santa Catarina Palopó	Municipio	Santa Catarina Palopó
	Sitio de la muestra	A la par del ultimo muelle	A la par del ultimo muelle	Sitio de la muestra	A la par del ultimo muelle
	Lugar de la muestra	Dentro del tul	Fuera del Tul	Lugar de la muestra	Fuera del Tul
	Codigo de Muestra	M5	M6	Coordenadas en X	431785
	Coordenadas en X	431785	431785	Coordenadas en Y	1627701
	Coordenadas en Y	1627701	1627701		Valor mas alto
	Temperaturan°C	25.2	25.7	Temperaturan°C	Fuera del Tul
	Saturación de oxígeno %	119.8	117.7	Saturación de oxígeno %	Dentro del tul
	pH	8.99	7.95	pH	Dentro del tul
	Oxígeno mg/L	8.18	7.94	Oxígeno mg/L	Dentro del tul
	Sólidos Disueltos Totales	232	321	Sólidos Disueltos Totales	Dentro del tul
NO3	0.019	0.023	NO3	Fuera del Tul	
PO4	0.012	0.039	PO4	Fuera del Tul	

Fuente: Propia, 2023



El cuadro número 18 enlista las familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas Santa Catarina Palopó.

Cuadro 18 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas Santa Catarina Palopó.

Municipio	Santa Catarina Palopó	Municipio	Santa Catarina Palopó
Sitio de la muestra	A la par del ultimo muelle	Sitio de la muestra	A la par del ultimo muelle
Lugar de la muestra	Dentro del tul	Lugar de la muestra	Fuera del Tul
Codigo de Muestra	M5	Codigo de Muestra	M6
Especies Encontradas	No. de individuos	Especies encontradas	No. de individuos
Hyalellidae	114	Hyalellidae	68
Tipulidae	1	Hidrobidae	8
Lymnaidae	12	Thiaridae	11
Thiaridae	23		
Hidrobiidae	5		

Fuente: Propia, 2023

El cuadro número 19 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de BMWP para Santa Catarina Palopó.

Cuadro 19 Cálculos para la obtención del valor del índice de BMWP para Santa Catarina Palopó.

Familia	No. de individuos	Puntuación BMWP	Familia	No. de individuos	Puntuación BMWP
Hyalellidae	114	7	Hyalellidae	68	7
Tipulidae	1	3	Hidrobiidae	8	8
Lymnaidae	12	4	Thiaridae	11	5
Thiaridae	23	5	Calidad del Agua	Critica	20
Hidrobiidae	5	8			
Calidad del Agua	Critica	27			

Fuente: Propia, 2023



El cuadro número 20 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de Shannon y de Simpson para Santa Catarina Palopó.

Cuadro 20 Valor del índice de Shannon y de Simpson para Santa Catarina Palopó.

Familia	No. de individuos	pi	P*I npi	Pi^2	Familia	No. de individuos	Pi	P*I npi	Pi^2
Hyalellidae	114	0.7355	- 0.22 60	0.5 409	Hyalellidae	68	0.7816	- 0.19 26	0.6 109
Tipulidae	1	0.0065	- 0.03 25	0.0 000	Hidrobidae	8	0.0920	- 0.21 94	0.0 085
Lymnaidae	12	0.0774	- 0.19 81	0.0 060	Thiariidae	11	0.1264	- 0.26 15	0.0 160
Thiaridae	23	0.1484	- 0.28 31	0.0 220		87	1.0000	- 0.67 35	0.6 354
Hidrobidae	5	0.0323	- 0.11 08	0.0 010				- 1.00 00	
	155	1	- 0.85 05	0.5 700				Índice de Shannon 0.67 35	1.0 000
								Índice de Simpson 0.3 646	
					Índice de Shannon 0.85 05	1.0 000			
					Índice de Simpson 0.4 321				

Fuente: Propia, 2023



EL cuadro número 21 detalla los resultados del análisis de agua en Panajachel.

Cuadro 21 Análisis de agua en Panajachel.

Panajachel (Tzanjuyú)	Municipio	Panajachel	Panajachel	Municipio	Panajachel
	Sitio de la muestra	A la par del muelle privado	A la par del muelle privado	Sitio de la muestra	A la par del muelle privado
	Lugar de la muestra	Dentro del Tul	Fuera del tul	Lugar de la muestra	Fuera del tul
	Codigo de Muestra	M7	M8	Coordenadas en X	430035
	Coordenadas en X	430035	430035	Coordenadas en Y	1629195
	Coordenadas en Y	1629195	1629195		Valor mas alto
	Temperatura °C	25.5	26.4	Temperatura °C	Fuera del tul
	Saturación de oxígeno %	125.5	125.2	Saturación de oxígeno %	Dentro del tul
	pH	9.35	9.2	pH	Dentro del tul
	Oxígeno mg/L	8.49	8.09	Oxígeno mg/L	Dentro del tul
	Sólidos Disueltos Totales	232	232	Sólidos Disueltos Totales	Igual
NO3	0.016	0.022	NO3	Fuera del tul	
PO4	0.023	0.014	PO4	Dentro del tul	

Fuente: Propia, 2023



El cuadro número 22 enlista las familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas Panajachel.

Cuadro 22 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas Panajachel.

Municipio	Panajachel	Municipio	Panajachel
Sitio de la muestra	A la par del muelle privado	Sitio de la muestra	A la par del muelle privado
Lugar de la muestra	Dentro del Tul	Lugar de la muestra	Fuera del tul
Codigo de Muestra	M7	Codigo de Muestra	M8
Especies encontradas	No. de individuos	Especies encontradas	No. de individuos
Hyalellidae	47	Thiaridae	8
Hidropterigidae	1	Hyalellidae	1
Thiaridae	5		
Hidrobiidae	2		

Fuente: Propia, 2023

El cuadro número 23 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de BMWP para Panajachel.

Cuadro 23 Valor del índice de BMWP para Panajachel.

Familia	Número de individuos	Puntuación BMWP	Familia	Número de individuos	Puntuación BMWP
Hyalellidae	47	7	Thiaridae	8	5
Hidropterigidae	1	3	Hyalellidae	1	7
Thiaridae	5	5	Calidad del Agua	Muy Crítica	12
Hidrobiidae	2	8			
Calidad del Agua	Critica	23			

Fuente: Propia, 2023



El cuadro número 24 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de Shannon y de Simpson para Panajachel.

Cuadro 24 Valor del índice de Shannon y de Simpson para Panajachel.

Familia	No. de individuos	pi	P*ln pi	Pi^2	Familia	No. de individuos	Pi	P*ln pi	Pi^2
Hyalellidae	47	0.9463	-0.0522	0.8955	Thiariidae	8	0.727272727	-0.231	0.5289
Hidropterigidae	1	0.0067	-0.0336	0.000	Hyalellidae	1	0.272727273	-0.3543	0.0743
Thiaridae	5	0.0336	-0.1139	0.0011		9	1	-0.5862	0.6033
Hidrobiidae	2	0.0134	-0.0579	0.002				-1	
	47	1.0000	-0.2576	0.8969				Índice de Shannon 0.582	1
			-1					Índice de Simpson 0.39	
			Índice de Shannon 0.2576	1.0000					
			Índice de Simpson 0.1031						

Fuente: Propia, 2023

EL cuadro número 25 detalla los resultados del análisis de agua en San Marcos la Laguna

Cuadro 25 Análisis de agua en San Marcos la Laguna

San Marcos la Laguna	Municipio	San Marcos la Laguna	San Marcos la Laguna	Municipio	San Marcos la Laguna
	Sitio de la muestra	A la par del muelle privado	A la par del muelle privado	Sitio de la muestra	A la par del muelle privado
	Lugar de la muestra	Dentro del Tul	Fuera del tul	Lugar de la muestra	Fuera del tul
	Código de Muestra	M9	M10	Coordenadas en X	418745
	Coordenadas en X	418745	418745	Coordenadas en Y	1828218
	Coordenadas en Y	1628218	1628218		Valor mas alto



Temperatura °C	2.9	2.9	Temperatura °C	Fuera del tul
Saturación de oxígeno %	117.5	112.9	Saturación de oxígeno %	Dentro del tul
pH	8.93	8.99	pH	Fuera del tul
Oxígeno mg/L	8.21	7.91	Oxígeno mg/L	Dentro del tul
Sólidos Disueltos Totales	230	231	Sólidos Disueltos Totales	Fuera del tul
NO ₃	0.026	0.064	NO ₃	Fuera del tul
PO ₄	0.04	0.031	PO ₄	Dentro del tul

Fuente: Propia, 2023

El cuadro número 26 enlista las familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas en San Marcos la Laguna.

Cuadro 26 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas San Marcos la Laguna.

Municipio	San Marcos la Laguna	Municipio	San Marcos la Laguna
Sitio de la muestra	A la par del Hotel el Dragón	Citio de la muestra	A la par del Hotel el Dragón
Lugar de la muestra	Dentro del Tul	Lugar de la muestra	Fuera del tul
Código de Muestra	M9	Código de Muestra	M10
Especies encontradas	No. de individuos	Especies encontradas	No. de individuos
Hyalellidae	5	Hyalellidae	2
Physidae	8	Thiaridae	6
Planorbiidae	12	Hidrobidae	1
Thiaridae	5		
Hidrobidae	7		

Fuente: Propia, 2023



El cuadro número 27 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de BMWP para San Marcos la Laguna.

Cuadro 27 Valor del índice de BMWP para San Marcos la Laguna.

Familia	No. de individuos	Puntuación BMWP	Familia	No. de individuos	Puntuación BMWP
Hyalellidae	5	7	Hyalellidae	2	7
physidae	8	3	Thiaridae	6	5
Planorbidae	12	5	Hidrobidae	2	8
Thiaridae	5	5	Calidad del Agua	Critica	20
Hidrobidae	7	8			
Calidad del Agua	Critica	28			

Fuente: Propia, 2023

El cuadro número 28 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de Shannon y de Simpson para San Marcos la Laguna.

Cuadro 28 Valor del índice de Shannon y de Simpson para San Marcos la Laguna.

Familia	No. de individuos	pi	P*ln pi	Pi^2	Familia	No. de individuos	Pi	P*ln pi	Pi^2
Hyalellidae	5	0.1351	- 0.27 05	0.01 83	Hyalellidae	2	0.2000	- 0.32 19	0.04 00
Physidae	8	0.2162	- 0.33 11	0.04 67	Thiaridae	6	0.6000	- 0.30 65	0.36 00
Planorbidae	12	0.3243	- 0.36 52	0.10 52	Hidrobidae	1	0.2000	- 0.32 19	0.04 00
Thiaridae	5	0.1351	- 0.27 05	0.01 83		9	1.0000	- 0.95 03	0.44 00
Hidrobidae	7	0.1892	- 0.31 50	0.03 58				-1	
	37	1.0000	- 1.55 23	0.22 43					
					Índice de Shannon	0.95 03		1	
					Índice de Simpson	0.56			



Índice de Shannon	1.55 23	1
Índice de Simpson	0.77 57	

Fuente: Propia, 2023

Segundo muestreo

A continuación, se presentan los cuadros de cálculos de índices biológicos obtenidos durante el segundo muestreo.

EL cuadro número 29 detalla los resultados del análisis de agua en Santiago Atitlán.

Cuadro 29 Análisis de agua en Santiago Atitlán.

Santiago Atitlán (Cerro de Oro)	Municipio	Cerro de Oro	Cerro de Oro	Municipio	Cerro de Oro
	Sitio de la muestra	Dentro del tul	Fuera del tul	Sitio de la muestra	Fuera del tul
	Lugar de la muestra	Pahuacal	Pahucal	Lugar de la muestra	Pahucal
	Código de Muestra	M1	M2	Coordenadas en X	428911
	Coordenadas en X	428911	428911	Coordenadas en Y	1621779
	Coordenadas en Y	1621779	1621779		Valor mas alto
	Temperatura °C	23.9	24.1	Temperatura °C	Fuera del tul
	Saturación de oxígeno %	109.3	106.8	Saturación de oxígeno %	Dentro del tul
	pH	8.46	8.6	pH	Fuera del tul
	Oxígeno mg/L	7.67	7.45	Oxígeno mg/L	Dentro del tul
	Sólidos Disueltos Totales	229	229	Sólidos Disueltos Totales	Ambos
	NO ₃	0.00713	0.01799	NO ₃	Fuera del tul
	PO ₄	0.0024	0.00053	PO ₄	Dentro del tul

Fuente: Propia, 2023



El cuadro número 30 enlista las familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas en Santiago Atitlán.

Cuadro 30 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas en Santiago Atitlán.

Municipio	Cerro de Oro	Municipio	Cerro de Oro
Sitio de la muestra	Fuera del tul	Sitio de la muestra	Dentro del tul
Lugar de la muestra	Pahuacal	Lugar de la muestra	Pahuacal
Código de Muestra	M1	Código de Muestra	M2
Especies Encontradas	No. de individuos	Especies encontradas	No. de individuos
Calopterygidae	1	Hyalellidae	17
Hyalellidae	134	Lymnaidae	2
Lestiidae	1	Thiariidae	3
Planorbiidae	3	Physidae	1
Physidae	9		
Pylidae	1		
Thiariidae	7		

Fuente: Propia, 2023

El cuadro número 31 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de BMWP para Santiago Atitlán.

Cuadro 31 Valor del índice de BMWP para Santiago Atitlán.

Familia	No. de individuos	Puntuación BMWP	Familia	No. de individuos	Puntuación BMWP
Calopterygidae	1	7	Hyalellidae	17	7
Hyalellidae	134	7	Lymnaidae	2	4
Lestiidae	1	8	Thiariidae	3	5
Planorbiidae	3	5	Physidae	1	3
Physidae	9	3	Calidad del Agua	Crítica	19
Pylidae	1	9			
Thiariidae	7	5			
Calidad del Agua	Dudosa	44			

Fuente: Propia, 2023



El cuadro número 32 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de Shannon y de Simpson para Santiago la Laguna.

Cuadro 32 Valor del índice de Shannon y de Simpson para Santiago la Laguna.

Familia	No. de Individuos	pi	P*ln pi	Pi^2	Familia	No. de Individuos	pi	P*ln pi	Pi^2
Calopterygidae	1	0.0064	-0.0324	0.010	Hyalellidae	17	0.7391	-0.2234	0.0499
Hyalellidae	134	0.8590	-0.1306	0.0171	Lymnidae	2	0.0870	-0.2124	0.0451
Lestidae	1	0.0064	-0.0324	0.0010	Thiariidae	3	0.1304	-0.2657	0.0706
Planorbidae	3	0.0192	-0.0760	0.0058	Physidae	1	0.0435	-0.1363	0.0186
Physidae	9	0.0577	-0.1646	0.0271		23	1	-0.8378	0.1842
Pylidae	1	0.0064	-0.0324	0.0010				-1	
Thiariidae	7	0.0449	-0.1393	0.0194				Índice de Shannon	0.8378 1
	156	1.0000	-0.6075	0.0275				Índice de Simpson	0.8893

-1

Índice de Shannon	0.6075	1
Índice de Simpson	0.9275	

Fuente: Propia, 2023



EL cuadro número 33 detalla los resultados del análisis de agua en Santa Catarina Palopó.

Cuadro 33 Análisis de agua en Santa Catarina Palopó.

San Antonio Palopó (Chicaman)	Municipio	San Antonio Palopó	San Antonio Palopó	Municipio	San Antonio Palopó
	Sitio de la muestra	Dentro del tul	Fuera del tul	Sitio de la muestra	Fuera del tul
	Lugar de la muestra	Chicaman	Chicaman	Lugar de la muestra	Chicaman
	Codigo de Muestra	M3	M4	Coordenadas en X	433597
	Coordenadas en X	433597	433597	Coordenadas en Y	621243
	Coordenadas en Y	621243	621243		Valor mas alto
	Temperaturan°C	23.6	24	Temperatura °C	Fuera del tul
	Saturación de oxígeno %	106.9	108.1	Saturación de oxígeno %	Fuera del tul
	pH	8.76	8.6	pH	Dentro del tul
	Oxígeno mg/L	7.53	7.56	Oxígeno mg/L	Fuera del tul
	Sólidos Disueltos Totales	228	229	Sólidos Disueltos Totales	Fuera del tul
	NO3	0.01202	0.00996	NO3	Dentro del tul
	PO4	0.0024	0.00053	PO4	Dentro del tul

Fuente: Propia, 2023

El cuadro número 34 enlista las familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas en San Antonio Palopó.

Cuadro 34 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas San Antonio Palopó.

Municipio	San Antonio Palopó	Municipio	San Antonio Palopó
Sitio de la muestra	Dentro del Tul	Sitio de la muestra	Fuera del tul
Lugar de la muestra	Chicaman	Lugar de la muestra	Chicaman
Especies encontradas	No. de individuos	Especies encontradas	No. de individuos
Thiariidae	31	Lestidae	1
Hidrobiidae	2	Thiariidae	25
Coenagryoniidae	2	Hidrobiidae	3
Hyalellidae	9	Planorbiidae	1
Planorbiidae	2	Hyalellidae	2



Lymnaidae	9		
Cordulegastridae	1		

Fuente: Propia, 2023

El cuadro número 35 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de BMWP para San Antonio Palopó.

Cuadro 35 Valor del índice de BMWP para San Antonio Palopó.

Familia	No. de individuos	Puntuación BMWP	Familia	No. de individuos	Puntuación BMWP
Thiariidae	31	5	Lestidae	1	8
Hidrobiidae	2	3	Thiariidae	25	5
Coenagryonidae	2	7	Hidrobiidae	3	3
Hyalellidae	9	7	Planorbiidae	1	5
Planorbiidae	2	5	Hyalellidae	2	7
Lymnaidae	9	4	Calidad del Agua	Critica	28
Cordulegastridae	1	10			
Calidad del Agua	Dudosa	41			

Fuente: Propia, 2023

El cuadro número 36 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de Shannon y de Simpson para San Antonio Palopó.

Cuadro 36 Valor del índice de Shannon y de Simpson para San Antonio Palopó.

Familia	No. de Individuos	pi	P*I npi	Pi^2	Familia	No. de Individuos	pi	P*I npi	Pi^2
Thiariidae	5	0.1563	- 0.29 00	0.0 841	Lestidae	1	0.0313	- 0.10 83	0.0 010
Hidrobiidae	3	0.0938	- 0.22 19	0.0 492	Thiariidae	25	0.7813	- 0.19 29	0.6 104
Coenagryoniidae	7	0.2188	- 0.33 25	0.1 105	Hidrobiidae	3	0.0938	- 0.22 19	0.0 088
Hyalellidae	7	0.2188	- 0.33 25	0.1 105	Planorbiidae	1	0.0313	- 0.10 83	0.0 010



Fuente: Propia, 2023

EL cuadro número 37 detalla los resultados del análisis de agua en Santa Catarina Palopó.

Cuadro 37 Análisis de agua en Santa Catarina Palopó.

Santa Catarina Palopó (Casco Urbano)	Municipio	Santa Catarina Palopó	Santa Catarina Palopó	Municipio	Santa Catarina Palopó
	Sitio de la muestra	A la par del ultimo muelle	A la par del ultimo muelle	Sitio de la muestra	A la par del ultimo muelle
	Lugar de la muestra	Dentro del tul	Fuera del Tul	Lugar de la muestra	Fuera del Tul
	Codigo de Muestra	M5	M6	Coordenadas en X	431785
	Coordenadas en X	431785	431785	Coordenadas en Y	1627701
	Coordenadas en Y	1627701	1627701		Valor mas alto
	Temperaturan°C	24.3	24.5	Temperaturan°C	Fuera del Tul
	Saturación de oxígeno %	117	117.6	Saturación de oxígeno %	Fuera del Tul
	pH	8.63	8.63	pH	Ambos
	Oxígeno mg/L	8.13	8.13	Oxígeno mg/L	Ambos
Sólidos Disueltos Totales	228	228	Sólidos Disueltos Totales	Ambos	
NO3	0.00811	0.0114	NO3	Fuera del Tul	
PO4	0.00053	0.00113	PO4	Fuera del Tul	

Fuente: Propia, 2023



El cuadro número 38 enlista las familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas Santa Catarina Palopó.

Cuadro 38 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas Santa Catarina Palopó.

Municipio	Santa Catarina Palopó	Municipio	Santa Catarina Palopó
Sitio de la muestra	A la par del ultimo muelle	Sitio de la muestra	A la par del ultimo muelle
Lugar de la muestra	Dentro del tul	Lugar de la muestra	Fuera del Tul
Codigo de Muestra	M5	Codigo de Muestra	M6
Especies Encontradas	No. de individuos	Especies encontradas	No. de individuos
Coenagryoniidae	3	Hyalellidae	13
Thiariidae	32	Thiariidae	1
Lymnaidae	2	Hidrobiidae	2
Hyalellidae	14	Leptophlebiidae	1
elimidae	1		
Hydraenidae	1		

Fuente: Propia, 2023

El cuadro número 39 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de BMWP para Santa Catarina Palopó.

Cuadro 39 Valor del índice de BMWP para Santa Catarina Palopó.

Familia	No. de individuos	Puntuación BMWP	Familia	No. de individuos	Puntuación BMWP
Coenagryoniidae	3	7	Hyalellidae	13	7
Thiariidae	32	5	Thiariidae	1	5
Lymnaidae	2	4	Hidrobiidae	2	3
Hyalellidae	14	7	Leptophlebiidae	1	9
elimidae	1	6	Calidad del Agua	Critica	24
Hydraenidae	1	7			
Calidad del Agua	Dudosa	36			

Fuente: Propia, 2023



El cuadro número 40 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de Shannon de Simpson para Santa Catarina Palopó.

Cuadro 40 Valor del índice de Shannon de Simpson para Santa Catarina Palopó.

Familia	No. de Individuos	pi	P*I npi	Pi^2	Familia	No. de Individuos	pi	P*I npi	Pi^2
Coenagry oniidae	3	0.0566	- 0.16 25	0.0 264	Hyalellid ae	13	0.7647	- 0.20 51	0.5 848
Thiariida e	32	0.6038	- 0.30 46	0.0 928	Thiariida e	1	0.0588	- 0.16 67	0.0 035
Lymnaid ae	2	0.0377	- 0.12 37	0.0 153	Hidrobii dae	2	0.1176	- 0.25 18	0.0 138
Hyalellid ae	14	0.2642	- 0.35 16	0.1 237	Leptophlebiidae	1	0.0588	- 0.16 67	0.0 035
elimidae	1	0.0189	- 0.07 49	0.0 056		17	1	- 0.79 02	0.6 055
Hydraeni dae	1	0.0189	- 0.07 49	0.0 056				-1	
	53	1	- 1.09 23	0.2 694				Índice de Shannon 0.79 02	1
			-1					Índice de Simpson 0.3 945	
		Índice de Shannon 1.09 23	1						
		Índice de Simpson 0.7 603							

Fuente: Propia, 2023



EL cuadro número 41 detalla los resultados del análisis de agua en Panajachel.

Cuadro 41 Resultados del análisis de agua en Panajachel.

Panajachel (Tzajuyú)	Municipio	Panajachel	Panajachel	Municipio	Panajachel
	Sitio de la muestra	A la par del muelle privado	A la par del muelle privado	Sitio de la muestra	Muelle privado
	Lugar de la muestra	Dentro del Tul	Fuera del tul	Lugar de la muestra	Fuera del tul
	Código de Muestra	M7	M8	Coordinadas en X	430035
	Coordinadas en X	430035	430035	Coordinadas en Y	1629195
	Coordinadas en Y	1629195	1629195		Valor mas alto
	Temperatura °C	25.1	25.6	Temperatura °C	Fuera del tul
	Saturación de oxígeno %	116.4	115.3	Saturación de oxígeno %	Dentro del tul
	pH	8.61	8.83	pH	Fuera del tul
	Oxígeno mg/L	7.96	7.81	Oxígeno mg/L	Dentro del tul
	Sólidos Disueltos Totales	230	229	Sólidos Disueltos Totales	Dentro del tul
	NO ₃	0.0114	0.01169	NO ₃	Fuera del tul
	PO ₄	0.00083	0.0014	PO ₄	Fuera del tul

Fuente: Propia, 2023

El cuadro número 42 enlista las familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas Panajachel.

Cuadro 42 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas Panajachel.

Municipio	Panajachel	Municipio	Panajachel
Sitio de la muestra	Muelle privado	Sitio de la muestra	Muelle privado
Lugar de la muestra	Dentro del Tul	Lugar de la muestra	Fuera del tul
Código de Muestra	M7	Código de Muestra	M8
Especies encontradas	No. de individuos	Especies encontradas	No. de individuos
Coenagryoniidae	1	Thiariidae	4
Thiariidae	72	Hyalellidae	32
Physidae	4	Hidrobiidae	1
Planorbiidae	2		
Hyalellidae	14		
Baetidae	7		

Fuente: Propia, 2023



El cuadro número 43 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de BMWP para Panajachel.

Cuadro 43 Valor del índice de BMWP para Panajachel.

Familia	No. de individuos	Puntuación BMWP	Familia	No. de individuos	Puntuación BMWP
Coenagryoniidae	1	7	Thiariidae	4	5
Thiariidae	72	5	Hyalellidae	32	7
Physidae	4	3	Hidrobiidae	1	1
Planorbiidae	2	5	Calidad del Agua	Muy critico	13
Hyalellidae	14	7			
Baetiidae	1	7			
Calidad del Agua	Critica	34			

Fuente: Propia, 2023

El cuadro número 44 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de Shannon y de Simpson para Panajachel.

Cuadro 44 Valor del índice de Shannon y de Simpson para Panajachel.

Familia	No. de Individuos	pi	P*Inpi	Pi^2	Familia	No. de individuos	pi	P*Inpi	Pi^2
Coenagryoniidae	1	0.0106	- 0.048 3	0.0 023	Thiariidae	4	0.1081081 08	- 0.2404 9984	0.057 84017
Thiariidae	72	0.7660	- 0.204 2	0.0 417	Hyalellidae	32	0.8648648 65	- 0.1255 6282	0.015 76602
Physidae	4	0.0426	- 0.134 3	0.0 180	Hidrobiidae	1	0.0270270 27	- 0.0975 9238	0.009 52427
Planorbiidae	2	0.0213	- 0.081 9	0.0 067		37	1	- 0.4636 5504	0.083 13047
Hyalellidae	14	0.1489	- 0.283 6	0.0 804				-1	



Baetiidae	1	0.0106	- 0.048 3	0.0 023
	94	1	- 0.800 8	0.1 516

Índice de Shannon	0.4636 5504	1
Índice de Simpson	0.918 6	

-1

Índice de Shannon	0.800 76037	1
Índice de Simpson	0.8 4	

Fuente: Propia, 2023

EL cuadro número 45 detalla los resultados del análisis de agua en San Marcos la Laguna.

Cuadro 45 Análisis de agua en San Marcos la Laguna

San Marcos la Laguna (Hotel Dragón)	Municipio	San Marcos la Laguna	San Marcos la Laguna	Municipio	San Marcos la Laguna
	Sitio de la muestra	A la par de Hotel el Dragón	A la par de Hotel el Dragón	Sitio de la muestra	A la par de Hotel el Dragón
	Lugar de la muestra	Dentro del Tul	Fuera del tul	Lugar de la muestra	Fuera del tul
	Código de Muestra	M9	M10	Coordenadas en X	418745
	Coordenadas en X	418745	418745	Coordenadas en Y	1828218
	Coordenadas en Y	1628218	1628218		Valor mas alto
	Temperatura °C	23.7	24.2	Temperatura °C	Fuera del tul
	Saturación de oxígeno %	102.1	106.4	Saturación de oxígeno %	Fuera del tul
	pH	8.55	8.59	pH	Fuera del tul
	Oxígeno mg/L	7.18	7.41	Oxígeno mg/L	Fuera del tul
Sólidos Disueltos Totales	229	229	Sólidos Disueltos Totales	Ambos	
NO ₃	0.01593	0.00854	NO ₃	Dentro del Tul	
PO ₄	0.00445	0.00083	PO ₄	Dentro del Tul	

Fuente: Propia, 2023



El cuadro número 46 enlista las familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas en San Marcos la Laguna.

Cuadro 46 Familias y poblaciones de macro invertebrados encontradas San Marcos la Laguna.

Municipio	San Marcos la Laguna	Municipio	San Marcos la Laguna
Sitio de la muestra	Hotel el Dragon	Sitio de la muestra	Hotel el Dragon
Lugar de la muestra	Dentro del Tul	Lugar de la muestra	Fuera del tul
Código de Muestra	M9	Código de Muestra	M10
Especies encontradas	No. de individuos	Especies encontradas	No. de individuos
Coenagryoniidae	1	Thiariidae	4
Thiariidae	72	Hyalellidae	32
Physidae	4	Hidrobiidae	1
Planorbiidae	2		
Hyalellidae	14		

Fuente: Propia, 2023

El cuadro número 47 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de BMWP para San Marcos la Laguna.

Cuadro 47 Valor del índice de BMWP para San Marcos la Laguna.

Familia	Número de individuos	Puntuación BMWP	Familia	Número de individuos	Puntuación BMWP
Coenagryoniidae	1	7	Thiariidae	4	5
Thiariidae	72	5	Hyalellidae	32	7
Physidae	4	3	Hidrobiidae	1	3
Planorbiidae	2	5	Calidad del Agua	Muy critica	15
Hyalellidae	14	7			
Calidad del Agua	Critica	27			

Fuente: Propia, 2023



El cuadro número 48 muestra los cálculos para la obtención del valor del índice de Shannon y de Simpson para San Marcos la Laguna.

Cuadro 48 Valor del índice de Shannon y de Simpson para San Marcos la Laguna.

Familia	No. de Individuos	pi	P*I npi	Pi^2	Familia	No. de Individuos	pi	P*I npi	PI^2
Coenagryoniidae	1	0.0108	- 0.0487	0.001	Thiariidae	4	0.1081	- 0.2405	0.0578
Thiariidae	72	0.7742	- 0.1981	0.5994	Hyalellidae	32	0.8649	- 0.1256	0.0158
Physidae	4	0.0430	- 0.1353	0.0018	Hidrobiiidae	1	0.0270	- 0.0976	0.0095
Planorbidae	2	0.0215	- 0.0826	0.0005		37	1.0000	- 0.4637	0.0831
Hyalellidae	14	0.1505	- 0.2850	0.0227				-1	
	93	1	- 0.7498	0.6245				Índice de Shannon 0.4637	1
			-1					Índice de Simpson 0.9133	
					Índice de Shannon 0.7498	1			
					Índice de Simpson 0.3797				

Fuente: Propia, 2023

b. Fotografías

A continuación, se presentan algunas fotografías obtenidas durante la investigación.

Recolección de muestras de agua se utilizó una botella tipo Van Don a una altura de 0.5 metros.

Ilustración 1 Recolección de muestras de agua se utilizó una botella tipo Van Don a una altura de 0.5 metros.



Fuente: Propia, 2023

Con una sonda paramétrica se tomaron los análisis físicos del agua.

Ilustración 2 Sonda paramétrica



Fuente: Propia, 2023

Muestreo de macro invertebrados con una red tipo D en el ecosistema del tul.

Ilustración 3 Muestreo de macro invertebrados con una red tipo D en el ecosistema del tul.



Fuente: Propia, 2023

Muestreo de macro invertebrados con una red tipo D en ecosistema sin tul.

Ilustración 4 Muestreo de macro invertebrados con una red tipo D en ecosistema sin tul.



Fuente: Propia, 2023

Colocación de las muestras de macros en bolsas herméticas

Ilustración 5 Colocación de las muestras de macros en bolsas herméticas



Fuente: Propia, 2023

Lavado de red tipo D después de colocar las muestras en las bolsas.

Ilustración 6 Lavado de red tipo D después de colocar las muestras en las bolsas.



Fuente: Propia, 2023

Etiquetado y conservación de las muestras de macro invertebrados.

Ilustración 7 Etiquetado y conservación de las muestras de macro invertebrados



Fuente: Propia, 2023

Almacenamiento de las muestras de macro invertebrados en el refrigerador del laboratorio
de calidad de agua y ambiental.

Ilustración 8 Almacenamiento de las muestras de macro invertebrados



Fuente: Propia, 2023

Limpieza de las muestras de macro invertebrados previos a su identificación.

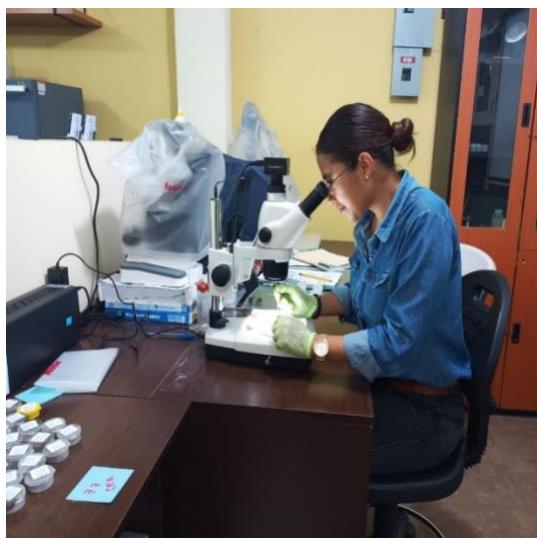
Ilustración 9 Limpieza de las muestras de macro invertebrados



Fuente: Propia, 2023

La identificación de macro invertebrados acuáticos.

Ilustración 10 Identificación de macro invertebrados acuáticos.



Fuente: Propia, 2023

Almacenamiento de los macro invertebrado en alcohol al 70%

Ilustración 11 Almacenamiento de los macro invertebrado en alcohol al 70%



Fuente: Propia, 2023



Boleta de campo para recolección de muestras

Para la recolección de muestra utilizaron boletas de campo, la cual se presente en la siguiente imagen.

Ilustración 12 Boleta de campo para recolección de muestras

IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO			
No. de Muestreo	2	Cód. Muestreo	MG-02
Municipio	Santiago	Cód. Municipio	01
Sitio de Muestreo	Cerro de Oro	Fecha	6.9.23
Coordinadas X/Y	428911	Hora inicio	7:40 AM
Coordinadas X/Y	1621779	Hora final	8:00 AM
Observaciones			
DATOS DEL SITIO DE MUESTRA			
Anchura media del tramo (mts)	5 mts		
Profundidad media del tramo (mts)	1.5 mts		
Longitud del tramo (mts)	45 mts		
DATOS DE LA UNIDAD DE MUESTRA			
DENTRO DEL TUL			
DATOS DE LA MUESTRA DE AGUA			
Sitio exacto de la muestra	chicomor	No. de Muestra	M1
Profundidad de la toma	0.5 mts	Oxígeno disuelto (ml/L)	7.67
Temperatura	23.9	Sólidos disueltos totales (ml/L)	229
Saturación de oxígeno (%)	109.3	pH	8.40
INFORMACIÓN ADICIONAL			
Observaciones			
Responsable:	Suzely González Rosales		
Firma			

Fuente: Propia, 2023

Especies encontradas

El siguiente cuadro contiene las especies de maro invertebrados encontrados en los muestreos tanto de invierno como de verano.

Ilustración 13 especies de maro invertebrados encontrados en los muestreos

	Orden	Familia	Fotografía
1	Basommatophora	<i>Physidae</i>	
2	Neotaenioglossa	<i>Thiariidae</i>	
3	Littorinimorpha	<i>Hidrobiidae</i>	
4	Odonata	<i>Coenagrionidae</i>	
5	Amphipoda	<i>Hyalellidae</i>	
6	Basommatophora	<i>Planorbidae</i>	

7	Basommatophora	<i>Lymnaidae</i>	
8	Odonata	<i>Cordulegastridae</i>	
9	Coleoptera	<i>Elimidae</i>	
10	Coleoptera	<i>Hydraenidae</i>	
11	Efemeróptera	<i>Leptophlebiidae</i>	
12	Basommatophora	<i>Physidae</i>	
13	Efemeróptera	<i>Baetidae</i>	

14 Trichoptera *Hidroptilidae*



15 Odonata *Calopterygidae*



16 Odonata *Lestidae*



Fuente: Propia, 2023

Cronograma de actividades

El desarrollo de la fase empírica y de análisis se llevaron a cabo en un lapso de 7 meses, lo cuales describe el siguiente cuadro número X

Cronograma de actividades.

En el cuadro 49A se presenta el cronograma de actividades realizadas.

Cuadro 49A cronograma de actividades.

	Actividad	Abril				Mayo				Jun	Jul	Agos	Septiembre				Octubre			
		S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	io	io	to	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4
Fase Metodológica	Reunión con DICA de AMSCLA E																			
	Definición de los sitios de muestreo																			
	Preparación de los materiales																			
	Recolección de las Muestras																			
	Procesamiento de las muestras																			
	Tabulación de datos obtenidos																			
	Interpretación de los datos																			
	Elaboración de documento final																			
	Difusión de los datos																			

Fuente: Propia, 2023