



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, MEDIANTE ÍNDICES
BIÓTICOS Y FÍSICOQUÍMICOS EN EL RÍO ACEITUNO Y RÍO MÉNDEZ DE LA CUENCA
LOS OCOTES, JURISDICCIÓN CIUDAD DE GUATEMALA**

Ingrid Jocabed Coloma Leiva

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, octubre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA,
MEDIANTE ÍNDICES BIÓTICOS Y FÍSICOQUÍMICOS EN
EL RÍO ACEITUNO Y RÍO MÉNDEZ DE LA CUENCA LOS OCOTES, JURISDICCIÓN
CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

INGRID JOCABED COLOMA LEIVA

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos de Martini
EXAMINADORA	Inga. Ana Gloria Montes Peña
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordoñez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, MEDIANTE ÍNDICES BIÓTICOS Y FÍSICOQUÍMICOS EN EL RÍO ACEITUNO Y RÍO MÉNDEZ DE LA CUENCA LOS OCOTES, JURISDICCIÓN CIUDAD DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 24 de julio de 2017.

Ingrid Jocabed Coloma Leiva

Guatemala 20 de Abril de 2021

Ingeniero
Williams Álvarez
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Williams Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: "DETERMINACION DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, MEDIANTE INDICES BIOTICOS Y FISICOQUIMICOS EN EL RIO ACEITUNO Y RIO MENDEZ DE LA CUENCA LOS OCOTES, JURISDICCION CIUDAD DE GUATEMALA", elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Ingrid Jocabed Coloma Leiva, quien se identifica con el registro académico 2011-13782 y con el CUI 2128 10251 0101.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



Jorge Mario ESTRADA ASTURIAS
M. Sc. Ingeniero Químico Col. 685
PROFESOR TITULAR
Facultad de Ingeniería
Registro USAC 20080059

Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
ASESOR

Ingeniero Químico
Colegiado activo no. 685



Guatemala, 22 de julio de 2021.
Ref. EIQ.TG-IF.023.2021.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **028-2017**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Ingrid Jocabed Coloma Leiva**.
Identificado con número de carné: **2128102510101**.
Identificado con registro académico: **201113782**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, MEDIANTE ÍNDICES BIÓTICOS Y FÍSICOQUÍMICOS EN EL RÍO ACEITUNO Y RÍO MÉNDEZ DE LA CUENCA LOS OCOTES, JURISDICCIÓN CIUDAD DE GUATEMALA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Jorge Mario Estrada Asturias, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Casta Petrona Zecena
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNAS
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Guatemala, 25 de octubre de 2021
Ref. EIQ.218.2021

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

Ingeniera
Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, MEDIANTE ÍNDICES BIÓTICOS Y FÍSICOQUÍMICOS EN EL RÍO ACEITUNO Y RÍO MÉNDEZ DE LA CUENCA LOS OCOTES, JURISDICCIÓN CIUDAD DE GUATEMALA** del(la) estudiante Ingrid Jocabed Coloma Leiva, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

“Id y Enseñad a Todos”




Ing. Williams G. Alvarez Mejia, M.Sc., M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

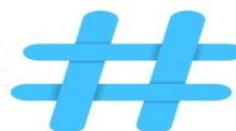
Cc. Archivo
WGAM/wgam



Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



**NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA**



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG. 560-2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, MEDIANTE ÍNDICES BIÓTICOS Y FÍSICOQUÍMICOS EN EL RÍO ACEITUNO Y RÍO MÉNDEZ DE LA CUENCA LOS OCOTES, JURISDICCIÓN CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Ingrid Jocabed Coloma Leiva**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi Padre, que me guía y anima a esforzarme y ser valiente en todo momento.
Mis padres	Ingrid Arlene Leiva Willis y Hugo Eliú Coloma Junay por ser ejemplo de amor e inspiración, por apoyarme y animarme, los amo.
Mi esposo	Pablo Samuel Girón Rivera, por ser el compañero perfecto y formar parte de mi vida.
Mis hermanas	Arlene Coloma Leiva y Andrea Coloma Leiva por ser mis cómplices y darme momentos de alegría.
Mis amigas	Saraí Argueta Figueroa y Marycarmen Montúfar Arévalo por ser mis cómplices y apoyarme en todo momento.
Mis familiares	Por estar pendientes de mis logros y darme palabras sabias.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida y permitirme vivir este momento.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudio, y brindarme los conocimientos por medio de catedráticos que impartieron con paciencia y esfuerzo para desarrollarme profesionalmente, donde aprendí la perseverancia, paciencia y amistad.
Facultad de Ingeniería	Por permitirme conocer el compañerismo en sus aulas.
Escuela de Ingeniería Química	Por su apoyo y brindarme la atención necesaria para los trámites.
Asesor Ing. Jorge Mario Estrada Asturias	Por compartir su conocimiento, experiencia y ser de apoyo incondicional para concluir este proceso.
Municipalidad de Guatemala, Dirección de Medio Ambiente	Por brindarme la oportunidad de realizar la investigación y gestionar la parte experimental de mi trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
Hipótesis	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TÉORICO	5
2.1. Calidad del Agua	5
2.1.1. Cuerpos de agua lénticos.....	6
2.1.2. Cuerpos de agua lóticos.....	6
2.2. Cuenca hidrográfica	6
2.2.1. División de una cuenca	6
2.3. Monitoreo del agua.....	7
2.4. Contaminación del agua.....	8
2.4.1. Sustancias contaminantes	9
2.5. Parámetros de la calidad del agua.....	10
2.5.1. Parámetros físicos.....	10
2.5.2. Parámetros químicos	11
2.5.3. Parámetros biológicos.....	12
2.6. Índices de calidad del agua.....	12
2.7. Índice BMWP.....	13

2.8.	Índice ISQA.....	17
2.8.1.	Interpretación del ISQA.....	18
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	19
3.1.	Variables	19
3.1.1.	Variables Dependientes.....	19
3.1.2.	Variables Independientes.....	19
3.2.	Delimitación de campo de estudio	20
3.3.	Recursos humanos disponibles	23
3.4.	Recursos materiales disponibles	24
3.4.1.	Equipo de protección personal	24
3.4.2.	Herramienta y equipo.....	24
3.4.3.	Cristalería y equipo	24
3.4.4.	Reactivos	25
3.5.	Técnica de estudio	26
3.5.1.	Índice ISQA.....	26
3.5.2.	Índice BMWP	26
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	26
3.6.1.	Índice ISQA.....	27
3.6.1.1.	Procedimiento de muestreo ISQA	27
3.6.1.2.	Análisis de muestreo ISQA.....	28
3.6.2.	Índice BMWP	29
3.6.2.1.	Procedimiento de muestreo BMWP	29
3.6.2.2.	Análisis de muestreo BMWP	30
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	30
3.7.1.	Tabulación y ordenamiento.....	30
3.7.2.	Procesamiento	31
3.7.2.1.	Modelo para determinar el ISQA	31

3.7.2.2.	Modelo para determinar el BMWP	32
3.8.	Análisis estadístico.....	33
3.8.1.	Coeficiente de correlación de Spearman	33
3.8.2.	Media muestral.....	34
4.	RESULTADOS.....	35
4.1.	ISQA.....	35
4.2.	BMWP	37
4.3.	Análisis de correlación entre ISQA y BMWP.....	47
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	55
	CONCLUSIONES	61
	RECOMENDACIONES.....	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	65
	APÉNDICES	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación satelital tridimensional	21
2.	Ubicación satelital bidimensional	22
3.	Ubicación satelital	23
4.	Correlación entre ISQA y BMWP del río Méndez, época seca.....	47
5.	Correlación entre ISQA y BMWP del río Méndez, época lluviosa	49
6.	Correlación entre ISQA y BMWP del río Aceituno, época seca.....	51
7.	Correlación entre ISQA y BMWP del río Aceituno, época lluviosa	53

TABLAS

I.	Lista de macroinvertebrados del BMWP	13
II.	Clasificación de la calidad del agua según el BMWP	16
III.	Clasificación de la calidad del agua según el ISQA.....	18
IV.	Coordenadas del río Méndez.....	27
V.	Coordenadas del río Aceituno.....	27
VI.	ISQA en parte alta del río Méndez.....	35
VII.	ISQA en parte baja del río Méndez.....	36
VIII.	ISQA en parte alta del río Aceituno.....	36
IX.	ISQA en parte baja del río Aceituno.....	37
X.	BMWP en parte alta del río Méndez, época seca.....	37
XI.	BMWP en parte baja del río Méndez, época seca.....	39
XII.	BMWP en parte alta del río Aceituno, época seca.....	40
XIII.	BMWP en parte baja del río Aceituno, época seca.....	41

XIV.	BMWP en parte alta del río Méndez, época lluviosa	43
XV.	BMWP en parte baja del río Méndez, época lluviosa	44
XVI.	BMWP en parte alta del río Aceituno, época lluviosa	45
XVII.	BMWP en parte baja del río Aceituno, época lluviosa	46
XVIII.	Comportamiento general del ISQA	47
XIX.	Análisis de correlación de <i>Spearman</i> del río Méndez, época seca	48
XX.	Análisis de correlación de <i>Spearman</i> del río Méndez, época lluviosa..	50
XXI.	Análisis de correlación de <i>Spearman</i> del río Aceituno, época seca	52
XXII.	Análisis de correlación de <i>Spearman</i> del río Aceituno, época lluviosa	54

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
r_s	Coefficiente de correlación de Spearman
CE	Conductividad eléctrica
DQO	Demanda química de oxígeno
A	Factor A ISQA
B	Factor B ISQA
C	Factor C ISQA
D	Factor D ISQA
°C	Grado Celsius
m²	Metro cuadrado
μS	Microsiemens
mg	Miligramo
mL	Mililitro
mm	Milímetro
NA	No aplica
L	Litro
OD	Oxígeno disuelto
%	Porcentaje
SST	Sólidos suspendidos totales
T	Temperatura

GLOSARIO

Afluente	Cuerpo de agua cuya desembocadura no ocurra en el mar sino en otro río superior.
Agua residual	Aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso.
Bioindicador	Organismo vivo que se utiliza como parámetro para la evaluación y determinación de la contaminación.
BMWP	<i>Biological monitoring working party</i> , índice biológico de calidad del agua, dado de la puntuación de macroinvertebrados acuáticos.
Calidad del agua	Es una medida de la condición del agua con base en sus características físicas, químicas, biológicas y radiológicas.
Caudal	Cantidad de agua que lleva una corriente.
Contaminación hídrica	Modificación en las condiciones del agua por efecto de actividad humana que la vuelven peligrosa para el consumo.
Correlación	Correspondencia entre dos o más fenómenos.

Cuenca hidrográfica	Territorio drenado por un único sistema de drenaje; el agua llega al mar a través de un solo río.
Época lluviosa	Temporada del año con abundantes precipitaciones.
Época seca	Temporada cuando la lluvia es escasa, con jornadas calientes y soleadas.
Escorrentía	Agua de lluvia que circula sobre la superficie de un terreno.
Estaciones climáticas	Periodos en los que las condiciones climáticas se mantienen en una determinada región dentro de ciertos rangos.
Familia	Es un tipo de clasificación biológica que permite agrupar a organismos vivos según ciertas características comunes.
ISQA	Índice simplificado de calidad del agua, se basa en cinco parámetros fisicoquímicos tomados de un cuerpo de agua.
Macroinvertebrados	Animales invertebrados que habitan principalmente en sistemas de agua dulce, con tamaños superiores a los 0,5 mm.
Monitoreo	Observación del curso de uno o más parámetros para detectar eventuales cambios.

Oxidabilidad	Medida aproximada de la cantidad de materia orgánica existente en el agua.
Río	Corriente natural de agua que fluye con continuidad.
Taxón	Grupo de organismos emparentado que han sido agrupados debido a sus similitudes.

RESUMEN

El presente diseño de investigación consiste en la determinación de dos índices de calidad en aguas superficiales, se analizó la parte alta y baja del río Méndez y río Aceituno. Para el análisis se realizó la comparación de los índices ISQA y BMWP en los ríos Aceituno y Méndez de la cuenca del río Los Ocotes, zona 17 de la Ciudad de Guatemala.

Se estableció dos puntos de muestreo tomando una muestra representativa en cada río tanto de la parte alta y baja durante la época lluviosa y seca del año, y se procedió a la evaluación de los factores que contribuyen al estado de contaminación de las aguas.

Concluyendo la investigación se llegó a conocer que la calidad del agua por medio del ISQA del río Méndez en la parte alta y baja es pésima en época seca, durante época lluviosa la parte alta y baja es mala mientras que para el río Aceituno la calidad del agua es mala en la parte alta y en la parte baja es regular en época seca, durante la época lluviosa la calidad del agua es regular en la parte alta y baja. El índice BMWP durante ambas épocas y en ambos puntos del muestreo la calidad del agua fue muy mala para el río Méndez y para el río Aceituno la calidad del agua es mala en época seca y en época lluviosa es muy mala en ambos puntos del muestreo.

OBJETIVOS

General

Evaluar la calidad del agua en los ríos Méndez y Aceituno mediante el ISQA y el BMWP, para la creación de la línea base de calidad del agua de los ríos ubicados en la Ciudad de Guatemala, en conjunto con la Municipalidad de Guatemala.

Específicos

1. Determinar el ISQA, en la parte alta y baja del río, para evaluar la calidad del agua de los ríos Méndez y Aceituno, durante la época seca y época lluviosa.
2. Determinar el BMWP, en la parte alta y baja del río, para evaluar la calidad del agua de los ríos Méndez y Aceituno, durante la época seca y época lluviosa.
3. Comparar los resultados de la calidad del agua obtenidos por el ISQA y el BMWP, para determinar si existe correlación lineal entre ambos índices.
4. Comparar el comportamiento del ISQA y BMWP en época seca y época lluviosa para establecer si existe alguna influencia estacional en la calidad del agua de los ríos Méndez y Aceituno.

Hipótesis

Hipótesis de trabajo

Existe influencia de los parámetros fisicoquímicos del ISQA y de la carga biótica de macroinvertebrados del BMWP, en los ríos Méndez y Aceituno.

Hipótesis nula:

No existe correlación lineal entre el ISQA y el BMWP en función de la época estacional para los ríos Méndez y Aceituno.

Hipótesis alternativa:

Sí existe correlación lineal entre e ISQA y el BMWP en función de la época estacional para los ríos Méndez y Aceituno.

INTRODUCCIÓN

Los afluentes en la Ciudad de Guatemala son de mucha importancia debido a que proporcionan vida en su paso. En la zona 17 se ubican los ríos Méndez y Aceituno, con el incremento de la población estos ríos se han visto afectados por la contaminación proveniente de zonas industriales, comerciales y urbanizaciones; por tal razón existe la necesidad de monitorear y establecer condiciones ambientales para determinar el grado de contaminación de los ríos.

La contaminación que presenta es de tipo fisicoquímico y biológico, por esta razón se han desarrollado diferentes metodologías para evaluar la calidad del agua de un afluente, el ISQA determinará las condiciones fisicoquímicas que presenta un cuerpo de agua de manera temporal y puntual; y el BMWP determinará las condiciones biológicas mediante el uso de bioindicadores, los cuales representan la sensibilidad de las especies de macroinvertebrados y su grado de resistencia ante condiciones de contaminación durante ciertos periodos de tiempo.

Por lo que la combinación de las metodologías del BMWP y el ISQA servirán para evaluar la calidad del agua y así poder conocer su estado para tomar acciones de corrección y protección de los ríos antes mencionados.

1. ANTECEDENTES

Al analizar las acciones que ha desarrollado la situación actual respecto a las condiciones de contaminación que se encuentra en los ecosistemas, se han determinado algunas de las causas y efectos por lo que ha sido necesario realizar una evaluación del nivel de contaminantes, sus características y el alcance de la alteración de los ecosistemas.

Se puede observar que los efectos más evidentes han sido la contaminación hídrica y la pérdida de la biodiversidad; cuyos aspectos han dado el desarrollo de estudios acerca de la calidad del agua en los ríos, con el fin de facilitar la interpretación del estado de estos.

“A partir de los años 50, investigadores de distintos países propusieron evaluar las condiciones ecológicas por medio de métodos biológicos, especialmente en aguas continentales de esorrentía.”¹

Latinoamérica no se ha quedado atrás respecto al interés por mejorar las condiciones de vida hídrica y ha comenzado a realizar estudios acerca de la calidad del agua en los ríos en el año 2004 los investigadores Rivera, N.R.; Encina, F.; Muñoz-Pedrerros, A. y Mejías, P., representantes de la Universidad Católica de Temuco ubicada en Chile, realizaron la publicación de un artículo científico en la revista Información Tecnológica acerca de: La calidad de las aguas en los ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile, por medio de parámetros fisicoquímicos y análisis microbiológico. Se obtuvo como resultado inmediato la

¹ ACUÑA CAMPOS, Esteban Stuardo. *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos.* p. 1-2.

buena calidad del agua por medio de parámetros fisicoquímicos conforme las normas chilenas. En cuanto al análisis microbiológico se detectó bacterias en cantidades significativas las cuales afectan la salud de consumidor humano y no es recomendable su ingesta.

En la década de los años 1980 y 1990 se empezaron a realizar los estudios de índices de diversidad y bióticos con diferentes mediciones para la evaluación, donde aparece el BMWP y el de saprobiedad, enriquecimiento del agua con materia orgánica.

El índice biológico BMWP (*Biological Monitoring Working Party*) es un procedimiento de medición de calidad del agua que utiliza macroinvertebrados bentónicos (que viven en los bentos o lechos de los ríos) de 110 familias taxonómicas, con diferentes tolerancias a los contaminantes; la ausencia de algunos, en consecuencia, dará resultados de la calidad del agua.²

En nuestro país, Guatemala, se han realizado estudios sobre las condiciones de calidad del agua en cuerpos lénticos y cuerpos lóticos, durante el año 2008 el Ing. Jorge Leonel Rivera Méndez en la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó un estudio acerca de la Determinación de los índices de calidad y coeficientes cinéticos de auto depuración del agua, en la parte alta de la cuenca del río Naranjo, ubicada en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango, se determinó mala calidad del agua para la parte alta del río.

En un estudio realizado desde enero del año 2011 a enero del año 2012, se analizó la composición y abundancia de los macroinvertebrados acuáticos que habitaban los río Pampumay y Pansalic-Panchinguajá con el apoyo de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán.

² LÓPEZ SALAZAR, Odalis Ivette. *Determinación de la calidad ambiental del agua, mediante índices bióticos y fisicoquímicos en la microcuenca del río Agua Tibia, zona 24.* p. 2.

En el año 2013, Esteban Estuardo Acuña Campos, realizó el estudio de graduación acerca de la *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*. Con los resultados se determinó que el grado de contaminación que obtuvo por el índice BMWP fue regular para la parte alta y media del río y para la parte baja la calidad del agua fue mala tanto en época seca como en la época lluviosa.

El departamento de ambiente de la Municipalidad de la Ciudad de Guatemala se ha enfocado a realizar estudios sobre las condiciones de calidad del agua por índices biológicos y fisicoquímicos, para las microcuencas de los ríos Contreras y Negro, en la época seca del año 2014, en un estudio de prácticas finales para la carrera de ingeniería ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ricardo J. Pineda Lam en el año 2016 presentó un estudio sobre *Estandarización de la metodología para el cálculo del ICA en el monitoreo ambiental de la Ciudad de Guatemala*. Donde utilizó una metodología práctica para el monitoreo de la calidad del agua en los ríos, que es utilizada en los proyectos de la división de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala.

En octubre de año 2016, Odalis Ivette López Salazar en la Universidad de San Carlos de Guatemala presentó su estudio de graduación con el tema *Determinación de la calidad ambiental del agua, mediante índices bióticos y fisicoquímicos en la microcuenca del río Agua Tibia, zona 24*. En el estudio realizado obtuvo como resultados durante la época seca y lluviosa para el índice biótico BMWP mala calidad del agua y el índice ISQA obtuvo una calidad regular del agua durante la época seca y durante la época lluviosa obtuvo buena calidad del agua.

Glenda Y. Isidro en el año 2019 realizó un estudio cuyo objetivo fue el monitoreo del río Molino ubicado en la zona 11 de la Ciudad de Guatemala, donde evaluó la calidad del agua por medio del índice ISQA del río Molino en la parte alta y baja en época seca es pésima y de la misma manera en época lluviosa la calidad del agua es mala por otro lado el BMWP durante ambas épocas y en ambos puntos de muestreo fue muy mala la calidad del agua.

En el año 2020, Tatiana Godínez, realizó el estudio donde evaluó la calidad del agua en la microcuenca del río Pinula, en época lluviosa el BMWP para la parte alta y baja fue muy crítica con puntuaciones muy bajas, mientras que los resultados del ISQA en época lluviosa y seca en la parte baja se registró una calidad del agua pésima mientras que la parte alta se registró una calidad del agua regular.

2. MARCO TEÓRICO

El agua es un compuesto químico constituido por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno que se encuentra en distintos estados de la materia, en estado líquido es un recurso natural indispensable para todo lo que posee vida en la Tierra, es incoloro e insípido que se utiliza para el consumo y en distintas actividades diarias tales como industriales, domésticas, agrícolas y ganaderas. Estas actividades son causantes de alteraciones y deterioros de los cuerpos de agua que existen en los paisajes naturales.

Los cuerpos hídricos se evalúan y monitorean para determinar el nivel de contaminación del agua, con lo que se obtienen datos que sirvan como base para la creación de políticas, planes y programas de desarrollo social, económico y ambiental que ayuden a la conservación y mantenimiento del agua, estos datos que se obtienen provenientes de los índices de calidad del agua.

2.1. Calidad del Agua

Para calificar la calidad del agua se debe especificar el uso que se le dará y con ello decidir si es apta o no. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano, y así proteger la salud de las personas.³

La calidad del agua se determina al comparar las características químicas y físicas de la misma con base de las normas y estándares establecidos, ya que

³ AJCABUL, Ángel. *Análisis comparativo entre el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el Índice de calidad del agua (ICA), aplicados al monitoreo de aguas superficiales en el río La Quebrada el Frutal*, p 3.

es relativo. Para calificar la calidad del agua se debe especificar el uso que se le dará, para que sea apta para uso industrial o para consumo humano.

2.1.1. Cuerpos de agua lénticos

Son aquellos que permanecen en un mismo lugar y a simple vista no poseen movimiento, como los lagos, las lagunas y pantanos. Estos ambientes cambian con el tiempo, disminuyen su profundidad y área. Los cuerpos de agua lénticos tienen menor variación de la temperatura según la temporada del año.

2.1.2. Cuerpos de agua lóticos

Un cuerpo de agua lótico a diferencia del léntico posee movimiento. En un cuerpo lótico el agua siempre corre en una misma dirección, debido a que responde a la fuerza de la gravedad; el ejemplo más claro de esto son los ríos.

2.2. Cuenca hidrográfica

Se refiere a un territorio vaciado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus aguas salen al mar a través de un único río. En una cuenca hidrográfica interactúan ecosistemas naturales que tienen elementos como el aire, el clima, el suelo, la flora y fauna. En la cuenca hidrográfica existen interrelaciones como la degradación de un recurso como el agua.

2.2.1. División de una cuenca

Para el manejo y estudio se realizan ciertas divisiones geográficas que permiten un estudio especializado de la cuenca. Se identifican las siguientes partes principales:

- Cuenta alta: generalmente ubicada en áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por la división de aguas.
- Cuenta media: posición donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido.
- Cuenta baja: también llamada zonas transicionales es donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas.

También se puede identificar subdivisiones en una cuenca:

- Subcuencas: se le llama al conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente.
- Microcuencas: es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca; es decir con que una subcuenca está dividida en varias microcuencas.

2.3. Monitoreo del agua

El monitoreo de un río consiste en determinar los cambios ocurridos en el agua, la biota y la tierra que lo rodea. Es un procedimiento basado en la observación y estudio del ecosistema, con el fin de descubrir los daños causados al río y establecer el tratamiento necesario para restaurarlo.⁴

⁴ MÉNDEZ SPIEGELER, Silvia Alejandra. *Determinación de la influencia de las características físicoquímicas medidas a través del índice simplificado de calidad del agua (ISQA), sobre la biota medida a través del índice biótico BMWP en la microcuenca del río Contreras del municipio de Guatemala.* p 163.

Para hacer un estudio, se necesita tomar varios datos en distintos puntos del mismo río y realizar una comparación de la calidad del agua con una ubicación de puntos de estudio al inicio y finales del río en estudio.

Actualmente, existen dos tipos de monitoreo para determinar la calidad del agua:

Monitoreo por bioindicación: para este análisis se utilizan bioindicadores, que son los indicadores puntuales y selectos de estrés ambiental que evalúan y pueden predecir los efectos de las modificaciones ambientales.

- Monitoreo por parámetros fisicoquímicos: para este tipo de análisis se utilizan muestras del agua superficial del río, que son transportadas para su posterior análisis en un laboratorio donde son evaluados.

2.4. Contaminación del agua

La contaminación afecta directamente a la composición y características del agua, puede ser afectada por factores biológicos, químicos y físicos. La contaminación del agua es la acumulación de uno o más sustancias al punto que causa daños a la vida alrededor y dentro del agua.⁵

Al desechar en los ríos residuos domésticos, industriales, actividades agrícolas y ganaderas; se crean factores claves para generar una contaminación en aguas superficiales y ríos.

⁵ CAMPOS GÓMEZ, Irene. *Saneamiento ambiental*. p 248.

2.4.1. Sustancias contaminantes

Existen varios factores y sustancias que contaminan el agua por lo que es difícil conocer todos, para facilitar la clasificación se han dividido en siete grupos los cuales son:

- Agentes patógenos: entidades biológicas como bacterias, virus, parásitos u otro organismo, que pueda causar daño al ser humano, animal o vegetal.
- Compuestos químicos orgánicos: son las sustancias químicas que contienen carbono y han sido fabricadas por el hombre tales como el petróleo, gasolina y envases plásticos.
- Desechos orgánicos: son el conjunto de residuos orgánicos como aceites, grasas, proteínas, heces y desechos de comida, producidos por el ser humano o animales. Cuando se encuentran en el agua en altas cantidades se genera la proliferación de bacterias, disminuyendo el oxígeno en el agua.
- Sustancias químicas inorgánicas: se trata de ácidos, bases y metales tóxicos. Proviene de los vertidos domésticos, agrícolas e industriales.
- Nutrientes vegetales inorgánicos, nitrógeno y fósforo: su exceso puede causar el aumento de las plantas acuáticas, lo que provoca la disminución de oxígeno para el ecosistema acuático.
- Sustancias radioactivas: son isótopos radioactivos solubles derivados de la energía nuclear y de la actividad de centrales termonucleares.

- Contaminación térmica: se produce cuando aumenta la temperatura de los ríos, lagos y aguas superficiales, debido a la liberación de agua caliente proveniente de centrales de energía o de actividades industriales.

2.5. Parámetros de la calidad del agua

El término calidad del agua es relativo debido a que puede ser buena calidad para el uso humano, pero no para el consumo, por eso la importancia de especificar el uso del que se va a utilizar el agua. La calidad del agua “se refiere a las cualidades del agua, como las características, composición, factores naturales o adquiridos que distinguen el estado en que se encuentra.”⁶

La calidad del agua puede ser expresada cuantitativamente por medio de pruebas y ensayos de laboratorio, o cualitativamente observando el estado del agua, para determinar la calidad del agua se utilizan parámetros químicos, físicos y biológicos, que en conjunto forman los índices de calidad del agua.

2.5.1. Parámetros físicos

Son los parámetros del agua que responden a los sentidos del tacto, olfato y gusto. Estos son los más utilizados:

- Sólidos suspendidos: partículas orgánicas e inorgánicas, así como los líquidos inmiscibles que se encuentran en el agua. Afectan la vegetación acuática debido a la turbidez que ocasionan dificultando el paso de la luz.

⁶ RIVERA MÉNDEZ, Jorge Leonel. *Determinación de los índices de calidad y coeficientes cinéticos de auto depuración del agua, en la parte alta de la cuenca del río Naranjo, ubicada en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango.* p 162.

- Turbidez: mide el grado en que la luz es absorbida o reflejada por el material en suspensión dentro del agua.
- Color: es provocado por los sólidos en suspensión en color aparente y los sólidos disueltos en color determinante.
- Olor y sabor: su principal fuente se los dan los minerales, metales, sales del suelo, productos finales de reacciones biológicas y aguas residuales.
- Temperatura: parámetro de importancia para la vida, ya que la biota está directamente relacionada con la temperatura del agua.

2.5.2. Parámetros químicos

Están relacionados con la capacidad de solvencia del agua, por lo que es necesario hacer uso de un laboratorio para la realización de pruebas específicas, entre ellos están:

- Alcalinidad: es la medida de la cantidad de iones presentes en el agua que reaccionan para neutralizar los iones de hidrógeno en ella.
- Dureza: concentración de cationes metálicos en una solución, provocan sólidos.
- Sólidos disueltos: materiales que permanecen luego de filtrar el agua.
- Metales: son elementos tóxicos o no tóxicos, cationes de metales en solución.

- Nutrientes: los más importantes en análisis de la calidad del agua son el nitrógeno y el fósforo, ambos producen eutrofización que crecimiento de algas y plantas verdes, que disminuye el oxígeno en el agua.
- Sustancias orgánicas: se clasifican según la degradación; el parámetro más relevante es la demanda química de oxígeno, DQO, que mide la cantidad de oxígeno que requieren los elementos orgánicos para ser biodegradables.

2.5.3. Parámetros biológicos

La presencia o ausencia de seres vivos acuáticos son indicadores de la calidad del agua. También se ha desarrollado índices biológicos en donde la presencia de cierta biota o especies determinan la calidad del agua, agentes patógenos y microorganismos provenientes de heces de seres vivos.

2.6. Índices de calidad del agua

Un índice de calidad es una herramienta que permite asignar un valor de calidad al cuerpo de agua a partir del análisis de diferentes parámetros. Al combinar los parámetros se tendrá una visión más precisa.

Características de los índices:

- Se componen por una expresión numérica, por lo que pueden incluirse en modelos y tomar decisiones.
- Simplifican y proporcionan un resumen de datos complejos.

- Fáciles de comprender para los usuarios y para el público.
- Deben ser tomados con precaución y ser actualizados periódicamente, debido a que las condiciones ambientales están en cambio continuo.

2.7. BMWP

Índice creado por Armitage en el año 1970.

El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) es un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. El índice permite estimar la calidad de un ecosistema acuático a partir de la valoración de las especies acuáticas que habitan en el mismo; se atribuye a cada especie un valor determinado de acuerdo con su tolerancia a la contaminación que va de 1 a 10, de manera que las familias más tolerantes obtienen una menor puntuación que aquellas que requieren una mejor calidad de las aguas en que viven. La suma de los valores obtenidos para cada familia en un punto de muestreo dará el grado de contaminación del mismo. Cuanto mayor sea la suma, menor es la contaminación del punto estudiado.⁷

En la siguiente tabla se muestran las familias de macroinvertebrados bentónicos para este índice, y su respectiva puntuación.

Tabla I. **Lista de macroinvertebrados del BMWP**

Puntuación	Orden	Familia
9	Odonata	Polythoridae
	Diptera	Blephariceridae; Athericidae
	Ephemeroptera	Heptageniidae
	Plecoptera	Perlidae
	Trichoptera	Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae

⁷ ALVAREZ, Luisa. *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. p 68.

Continuación de la tabla I.

Puntuación	Orden	Familia
8	Ephemeroptera	Leptophlebiidae
	Odonata	Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae
	Trichoptera	Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae
	Blattodea	Blaberidae
7	Coleoptera	Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae
	Odonata	Gomphidae; Lestidae; Platystictidae; Megapodagrionidae; Protoneuridae
	Trichoptera	Philopotamidae
	Crustacea	Talitridae; Gammaridae
6	Odonata	Libellulidae
	Megaloptera	Corydalidae
	Trichoptera	Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae
	Ephemeroptera	Euthyplociidae; Eponychia
5	Lepidoptera	Pyralidae
	Trichoptera	Hydropsychidae; Helicopsychidae
	Coleoptera	Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae
	Ephemeroptera	Leptohiphididae; Oligoneuriidae; Polymitarciidae; Baetidae
	Crustacea	Crustacea
	Tricladida	Turbellaria
4	Coleoptera	Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae
	Diptera	Dixidae; Simuliidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Empididae; Muscidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae
	Hemiptera	Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae
	Odonata	Calopterygidae; Coenagrionidae
	Ephemeroptera	Caenidae
	Hidracarina	Hidracarina

Continuación de la tabla I.

Puntuación	Orden	Familia
3	Coleoptera	Hydrophilidae
	Diptera	Psychodidae
	Mollusca	Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae; Bythinellidae; Sphaeridae
	Annelida	Hirudinea: Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae
	Crustacea	Asellidae
2	Diptera	Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae
1	Diptera	Syrphidae
	Annelida	Oligochatea (todas las clases)

Fuente: Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica. *Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales.*

Decretos No. 33903-MINAE-S. p 16.

Según el valor obtenido de la sumatoria de todas las familias se obtiene un valor de BMWP el cual se clasifica según el nivel mostrado en la siguiente tabla. El valor de éste índice no sobrepasa de 200. Los colores para representar la calificación del cuerpo hídrico y su clasificación:

Tabla II. **Clasificación de la calidad del agua según el BMWP**

Nivel de calidad	BMWP	Color
Aguas de calidad excelente	>120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible	101-120	Azul Celeste
Aguas de calidad regular, eutrófica, contaminación moderada	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas	36-60	Amarillo
Aguas de calidad mala, muy contaminadas	16-35	Naranja
Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas.	<15	Rojo

Fuente: Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica. *Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales.*

Decretos No. 33903-MINAE-S. p 18.

2.8. ISQA

Este índice permite asignar un valor a la calidad del agua, utilizando un número limitado de parámetros. Tiene la ventaja de ser fácil y representar una idea rápida e intuitiva de la calidad y para tener una visión más amplia se necesita complementar con otros índices de calidad.⁸

“Es un índice que surge en España en 1982 para las cuencas de Cataluña que se basa en 5 parámetros fisicoquímicos planteado para el uso de 6 casos específicos, dentro de los cuales destaca el uso para consumo humano.”⁹ Los parámetros analizados por este índice son:

- Conductividad eléctrica: parámetro físico que indica la capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica.
- Oxígeno disuelto: parámetro químico, es el oxígeno que necesita en el agua para obtener vida acuática.
- Demanda química de oxígeno: es un parámetro químico que indica la cantidad de oxígeno necesario para la biodegradación de materia orgánica.
- Sólidos suspendidos totales: parámetro físico que indica la cantidad de materia orgánica e inorgánica, también de los líquidos inmiscibles que afecten el crecimiento de la vegetación acuática.

⁸ RIOS MORENO, Antonio. *Índice simplificado de calidad de aguas (ISQA)*. <http://www.mailxmail.com/curso-agua-calidad-contaminacion-2-2/indice-simplificado-calidadaguas-isqa>. Consulta: marzo de 2017.

⁹ ISIDRO SEBASTIAN, Glenda Yesenia. *Evaluación de la calidad del agua del río Molino, ubicado en la zona 11 Ciudad de Guatemala, mediante el índice simplificado de calidad de Agua (ISQA) y el índice biótico BMWP*. p 82.

- Temperatura: es un parámetro físico que indica el rango de vida de ciertas especies acuáticas, también afecta el proceso de colonización bacteriana.

2.8.1. Interpretación del ISQA

La calidad del agua en el ISQA tiene una escala que va desde 0, mala calidad, hasta un valor de 100, buena calidad. A continuación, se muestra la tabla de la clasificación de la calidad del agua:

Tabla III. **Clasificación de la calidad del agua según el ISQA**

Calidad	Valor	Significado	Color
Buena	76-100	Aguas claras, sin aparente contaminación	Azul
Regular	51-75	Ligero color de agua, con espumas y ligera turbidez del agua, no natural.	Verde
Mala	26-50	Apariencia de aguas contaminadas y de fuerte olor.	Amarillo
Pésima	0-25	Aguas negras, con procesos de fermentación y olor.	Rojo

Fuente: UAM. *Aproximación a los sistemas acuáticos lóticos: muestreo, tratamiento de datos e índices de calidad del agua.* p 6.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

El monitoreo de la calidad del agua de los ríos Méndez y Aceituno se realizó por medio de parámetros bióticos y fisicoquímicos, analizando las variables dependientes e independientes con su unidad respectiva:

3.1.1. Variables Dependientes

- BMWP
- ISQA

3.1.2. Variables Independientes

- Conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Calidad del agua, NA.
- Demanda química de oxígeno, DQO, en mg/L .
- Oxígeno disuelto en mg/L .
- Puntuación BMWP de biota presente, NA.
- Sólidos suspendidos totales en mg/L .
- Temperatura en $^{\circ}\text{C}$.
- Variedad taxonómica, NA.

Las variables establecidas anteriormente, son susceptibles de monitoreo a:

- Puntos de muestreo
 - Parte alta río Méndez
 - Parte alta río Aceituno
 - Parte baja río Méndez
 - Parte baja río Aceituno

- Época del año
 - Época seca
 - Época lluviosa

3.2. Delimitación de campo de estudio

El estudio se centró en determinar dos índices de calidad del agua, partiendo de la medición de parámetros fisicoquímicos y bióticos para los ríos Méndez y Aceituno de la cuenca Los Ocotes, jurisdicción Ciudad de Guatemala zona 17, por medio de los índices ISQA y BMWP. Se analizó dos puntos de muestreo ubicados en la parte alta y baja de los ríos mencionados, en época seca y época lluviosa se tomó con cinco muestras respectivamente, analizadas en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria para el análisis del ISQA y para el índice biótico el Laboratorio de Microbiología de la Escuela de Ingeniería Química.

Los muestreos se realizaron en época seca y lluviosa del año 2017, para el análisis de los efectos con base a las condiciones climáticas en ambas épocas del año.

Figura 1. **Ubicación satelital tridimensional**



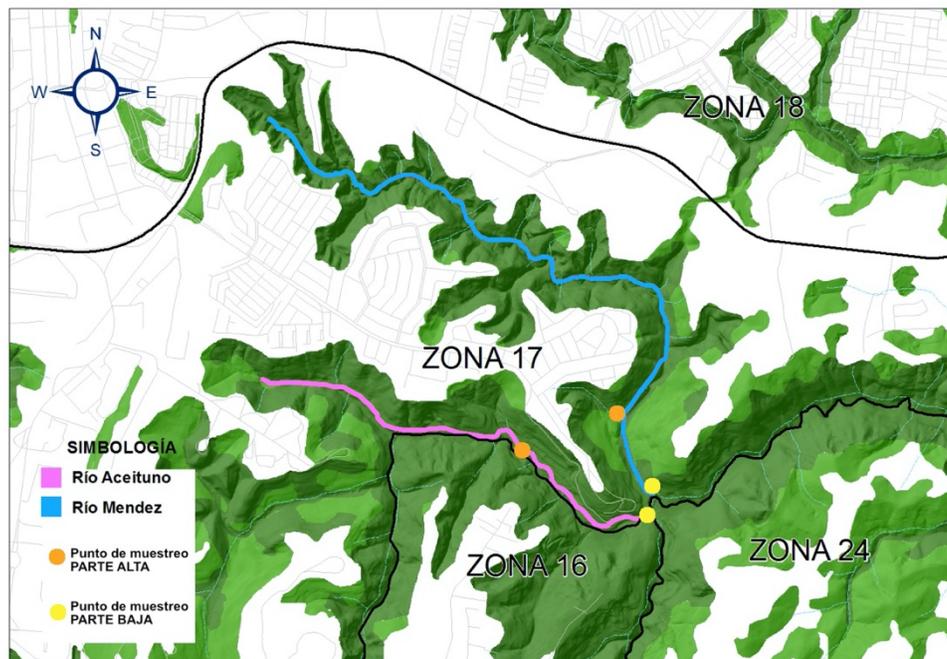
Fuente: Google Maps. *Ubicación satelital*. <https://www.google.com.gt/maps/@14.6358636,-90.4558934,355a,35y,19.31h,39.63t/data=!3m1!1e3>. Consulta: abril de 2021.

Figura 2. **Ubicación satelital bidimensional**



Fuente: Google Maps. *Ubicación satelital*. <https://www.google.com.gt/maps/@14.6387096,-90.4547926,518a,35y,20.06h/data=!3m1!1e3>. Consulta: abril de 2021.

Figura 3. **Ubicación satelital**



Fuente: elaboración propia, empleando ArcGis.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Br. Ingrid Jocabed Coloma Leiva.
- Asesor de investigación: Ingeniero químico Jorge Mario Estrada Asturias.
- Asesor Técnico-Administrativo de la Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala: Jhonatan Sicán.

3.4. Recursos materiales disponibles

Para llevar a cabo la investigación se necesitó equipo de protección personal, herramienta, cristalería y reactivos; se especifican a continuación:

3.4.1. Equipo de protección personal

- Botas de hule.
- Chaleco.
- Guantes de látex.
- Mascarilla.

3.4.2. Herramienta y equipo

- Botes de plástico con tapón hermético capacidad 1 L.
- Cámara digital de teléfono celular.
- Dispositivo GPS marca Garmin Etrex.
- Frascos de muestra pequeños con tapadera capacidad 100 mL.
- Hielera.
- Hoja de papel para toma de datos.
- Multiparamétrico.
- Pinzas.
- Red de muestreo tipo D con cedazo de 1 mm.

3.4.3. Cristalería y equipo

- Índice ISQA
 - Balanza analítica.

- Bomba de vacío.
 - Botes de plástico con tapón hermético capacidad 1 L.
 - Conductímetro marca Hach.
 - Espectrofotómetro.
 - Filtros para análisis de sólidos en suspensión.
 - Horno de secado.
 - Kitasato.
 - Manguera.
 - Multiparamétrico marca Hach.
 - Pipeta de 5 mL.
 - Probeta de 10 mL.
 - Termómetro.
 - Tubos de ensayo.
- Índice BMWP
 - Caja Petri para identificación de macroinvertebrados.
 - Cámara digital marca Canon 60 D.
 - Cuchara plástica.
 - Estereoscopio.
 - Frascos de muestra pequeños con tapadera capacidad 100 mL.
 - Hielera.
 - Papel mayordomo.
 - Red de muestreo tipo D con cedazo de 1 mm.

3.4.4. Reactivos

- Alcohol etílico al 70 %.
- Reactivos de DQO.

- Glicerina.
- Agua destilada.

3.5. Técnica de estudio

Para llevar a cabo la investigación se aplicó las siguientes técnicas de estudio:

3.5.1. Técnica ISQA

El estudio se realizó de carácter cuantitativo ya que se midieron parámetros físicos y químicos del agua, de los cuales se obtuvo como resultado las cifras contables para el conocimiento del índice de calidad.

3.5.2. Técnica BMWP

El estudio se realizó de carácter cualitativo, tomando como referencia a los individuos bióticos del agua para el conocimiento de la calidad, clasificados según las características físicas de los macroinvertebrados.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Las muestras de agua superficial y macroinvertebrados fueron recolectadas de los ríos Méndez y Aceituno, ubicados en la zona 17 en jurisdicción de la Ciudad Capital de Guatemala. Se seleccionó un sector de fácil acceso y representativo de la parte alta y parte baja de cada río. El procedimiento de muestreo y análisis para la obtención de la información del ISQA y del BMWP, se describe a continuación:

Tabla IV. **Coordenadas del río Méndez**

Punto de muestreo	Ubicación	Coordenadas
Parte alta	Zona 17	14°38'23.8"N 90°27'15.9"O
Parte baja	Zona 17	14°38'17.7"N 90°27'13.4"O

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla V. **Coordenadas del río Aceituno**

Punto de muestreo	Ubicación	Coordenadas
Parte alta	Zona 17	14°38'18.5"N 90°27'26.1"O
Parte baja	Zona 17	14°38'16.9"N 90°27'12.3"O

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.6.1. Índice ISQA

Se explica a detalle el procedimiento que se lleva a cabo para la toma de muestras de agua de los ríos Méndez y Aceituno, en los dos puntos de muestreo respectivamente.

3.6.1.1. Procedimiento de muestreo ISQA

- Se determinó la viabilidad y se localizaron los dos puntos de muestreo con el uso del GPS.
- Se colocó el equipo de protección personal y prepararon los recipientes para la toma de muestras. El equipo debe estar esterilizado, sin agentes contaminantes.

- Se seleccionó un tramo del río no superior a 50 m de largo. Este tramo debe ser representativo a la generalidad del río.
- Se inició el muestreo, sumergiendo el recipiente en un rango de profundidad entre 15 a 25 cm y se tomó la muestra a contracorriente.
- Se selló cuidadosamente el recipiente para evitar derrames y alteraciones.
- Se identificó las muestras con la hoja de recolección de datos, anotando la hora.
- Se midió temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto con la ayuda del multiparamétrico.
- Se colocó las muestras en la hielera en el rango de temperaturas desde 4 a 10 °C para su traslado al laboratorio.

3.6.1.2. Análisis de muestreo ISQA

- Se realizó en los dos puntos de muestreo la medición de temperatura, oxígeno disuelto y conductividad, con el multiparamétrico.
- Se midió el DQO a cada muestra en el laboratorio.
- Se midió la cantidad de sólidos disueltos totales a cada muestra en el laboratorio.
- Se calculó el ISQA.

- Se determinó la calidad del agua según el valor dado con ayuda de la Tabla III.

3.6.2. Índice BMWP

El procedimiento de recolección de muestras de macroinvertebrados en los ríos Méndez y Aceituno se realizó de la siguiente manera:

3.6.2.1. Procedimiento de muestreo BMWP

- Se colocó el equipo de protección personal y se prepararon los recipientes esterilizados para la toma de muestras.
- Se seleccionó un tramo del río no superior a 50 m de largo. Este tramo fue representativo a la generalidad del río.
- Se posicionó a contra corriente la red D en posición vertical tomándola por la parte más alta del mango, haciendo contacto con el fondo de la superficie del río.
- Se realizó el muestreo en el centro y ambas orillas del río.
- Se inspeccionó cuidadosamente la red D, con la ayuda de una pinza se seleccionó a los macroinvertebrados y se procedió a introducirlos en el recipiente con la solución de alcohol al 70 % y glicerina, para su conservación.
- Se colocaron las muestras en una hielera para su traslado, y fueron analizadas en el laboratorio.

3.6.2.2. Análisis de muestreo BMWP

- Se separó el macroinvertebrado con la ayuda de una cuchara plástica y ubicó en la caja Petri para ser analizado.
- Se examinó con el estereoscopio.
- Se identificó al macroinvertebrado con las claves y guías taxonómicas.
- Se colocó los macroinvertebrados en un frasco con una solución de alcohol al 70 % y glicerina.
- Se identificó el frasco con el punto de muestreo, la fecha y la hora de la toma.
- Se anotó la identificación de la familia.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Se presentan los formatos para el registro de los datos experimentales obtenidos por la determinación del ISQA y por el BMWP, así como el modelo y metodología para obtener los índices.

3.7.1. Tabulación y ordenamiento

Se realizó la tabulación con los datos para el cálculo del ISQA y BMWP durante la época seca y época lluviosa de los ríos Méndez y Aceituno, dichas tabulaciones se encuentran del apéndice 1 al apéndice 12.

3.7.2. Procesamiento

Se explica a continuación el modelo y metodología aplicados para el ISQA y BMWP.

3.7.2.1. Modelo para determinar el ISQA

Con el procesamiento y el análisis de las muestras, se procedió a realizar el cálculo del ISQA, determinándolo de la siguiente manera:

$$ISQA = T * (A + B + C + D)$$

Donde:

- T: temperatura del agua en °C. Puede tomar valores comprendidos entre 0,8 y 1 según:
 - $T = 1$ si $t \leq 20$ °C
 - $T = 1 - (t - 20) \cdot 0,0125$ si $t > 20$ °C

- A: Demanda química orgánica según la oxidabilidad al permanganato $A_n = DQO - Mn$, expresada en mg/L. puede tomar valores comprendidos entre 0 y 30 según:
 - $A = 30 - A_n$ si $A \leq 10$ mg/L
 - $A = 21 - (0,35 \cdot A_n)$ si $60 \text{ mg/L} \geq A > 10$ mg/L
 - $A = 0$ si $A > 60$ mg/L

- B: Sólidos en suspensión totales, SST, en mg/L. Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25, según:
 - $B = 25 - (0,15 \cdot SST)$ si $SST \leq 10$ mg/L
 - $B = 17 - (0,07 \cdot SST)$ si $250 \text{ mg/L} \geq SST > 100$ mg/L
 - $B = 0$ si $SST > 250$ mg/L

- C: Oxígeno disuelto, O_2 , en mg/L. Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25, según:
 - $C = 2,5 \cdot O_2$ si $O_2 < 10$ mg/L
 - $C = 25$ si $O_2 \geq 10$ mg/L

- D: Conductividad, CE, en $\mu\text{S/cm}$ a 18 °C. Si la conductividad se mide a 25 °C, para obtener la conversión a 18 °C se multiplicará por 0,86. Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 20 según:
 - $D = (3,6 - \log CE) \cdot 15,4$ si $CE \leq 4\,000$ $\mu\text{S/cm}$
 - $D = 0$ si $CE > 4\,000$ $\mu\text{S/cm}$

3.7.2.2. Modelo para determinar el BMWP

- Se identificó los macroinvertebrados que se encontraron en el muestreo según especie y familia con la ayuda de la guía taxonómica.

- Se procedió a la identificación de los tipos de macroinvertebrados, se dio la puntuación según Tabla I.

- Se realizó un promedio entre los cinco datos de época seca y los cinco datos de época lluviosa.
- Se determinó el BMWP en los ríos Méndez y Aceituno.

3.8. Análisis estadístico

A continuación, se describe las herramientas estadísticas a utilizar para el análisis de los resultados obtenidos según la tabulación de los datos.

3.8.1. Coeficiente de correlación de Spearman

Este coeficiente de asociación nos permite cuantificar el grado de ajuste y de relación lineal entre dos variables que no se comportan normalmente, entre variables ordinales.

$$r_s = 1 - \frac{(6 \sum_{i=1}^n di^2)}{n^3 - n}$$

Donde:

$\sum_{i=1}^n di^2$ = Sumatoria de rangos al cuadrado

n = Tamaño de la muestra

Criterio:

Los valores van de 0 a 1, el signo indica correlación directa + o inversa -.

- Si $0,2 < r_s < 0,4$; es una correlación baja
- Si $0,4 < r_s < 0,6$; es una correlación moderada
- Si $0,6 < r_s < 0,8$; es una correlación buena
- Si $0,8 < r_s < 1$; es una correlación muy buena

3.8.2. Media muestral

“La media aritmética es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número de datos total.”¹⁰

$$X = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{N}$$

Donde:

X = Media aritmética

Xi = Dato correspondiente a una medición

N = Número total de dato

¹⁰ JOHNSON, Robert. *Estadística elemental*. p 64.

4. RESULTADOS

4.1. ISQA

A continuación, se muestran las tablas con el resumen de los datos calculados del índice simplificado de la calidad del agua, ISQA.

Tabla VI. **ISQA en parte alta del río Méndez**

Época	Muestreo	Fecha	T	A	B	C	D	ISQA
Seca	1	8/03/17	0,98	0,00	0,00	14,24	17,30	31,14
	2	14/03/17	0,99	0,00	0,00	2,49	15,16	17,52
	3	21/03/17	1,00	0,00	1,60	4,60	13,43	19,62
	4	28/03/17	0,98	0,00	2,77	7,96	15,82	26,02
	5	4/04/17	1,00	0,00	3,94	4,42	15,00	23,37
Pésima								23,53
Época	Muestreo	Fecha	T	A	B	C	D	ISQA
Lluviosa	1	4/09/17	0,97	0,00	21,40	15,37	10,11	45,34
	2	11/09/17	0,98	0,00	4,47	25,00	10,14	38,84
	3	18/09/17	0,97	0,00	9,79	25,00	9,83	43,49
	4	25/09/17	0,99	0,00	6,01	25,00	9,08	39,70
	5	2/10/17	0,98	0,00	7,27	25,00	8,83	40,53
Mala								41,58

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla VII. **ISQA en parte baja del río Méndez**

Época	Muestreo	Fecha	T	A	B	C	D	ISQA
Seca	1	8/03/17	1,00	0,00	13,00	13,93	13,29	40,22
	2	14/03/17	0,96	0,00	0,00	6,14	6,14	21,40
	3	21/03/17	0,98	0,00	2,58	4,63	4,63	19,63
	4	28/03/17	0,95	0,00	0,00	3,96	3,96	14,75
	5	4/04/17	0,97	0,00	0,00	5,04	5,04	17,27
Pésima								22,65
Época	Muestreo	Fecha	T	A	B	C	D	ISQA
Lluviosa	1	4/09/17	0,95	0,00	21,25	10,30	10,02	39,62
	2	11/09/17	0,97	0,00	7,14	25,00	10,29	41,29
	3	18/09/17	0,97	0,00	8,60	25,00	9,81	42,25
	4	25/09/17	0,98	0,00	3,14	25,00	10,63	38,30
	5	2/10/17	0,97	0,00	7,83	25,00	8,94	40,89
Mala								40,47

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla VIII. **ISQA en parte alta del río Aceituno**

Época	Muestreo	Fecha	T	A	B	C	D	ISQA
Seca	1	8/03/17	1,00	20,00	0,00	13,44	15,30	28,74
	2	14/03/17	0,98	25,00	14,10	18,94	15,98	72,87
	3	21/03/17	0,99	13,30	5,62	3,75	12,73	34,98
	4	28/03/17	1,00	14,00	18,79	8,06	14,76	55,61
	5	4/04/17	1,00	20,00	0,00	3,18	14,58	37,76
Mala								45,99
Época	Muestreo	Fecha	T	A	B	C	D	ISQA
Lluviosa	1	4/09/17	0,97	24,00	23,35	9,52	18,43	73,28
	2	11/09/17	0,98	21,00	10,00	25,00	19,62	74,65
	3	18/09/17	0,98	12,25	9,16	25,00	20,35	65,36
	4	25/09/17	0,99	20,00	8,39	25,00	19,02	71,74
	5	2/10/17	0,98	24,00	14,65	25,00	19,83	82,09
Regular								73,42

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla IX. **ISQA en parte baja del río Aceituno**

Época	Muestreo	Fecha	T	A	B	C	D	ISQA
Seca	1	8/03/17	1,00	20,00	0,00	19,48	15,30	54,78
	2	14/03/17	0,99	13,65	23,65	5,09	14,74	56,65
	3	21/03/17	100	0,00	18,25	7,71	15,07	41,03
	4	28/03/17	0,97	15,75	21,13	4,07	15,48	55,13
	5	4/04/17	0,99	15,75	17,58	5,91	13,51	52,43
	Regular							
Época	Muestreo	Fecha	T	A	B	C	D	ISQA
Lluviosa	1	4/09/17	0,95	24,00	23,20	14,22	18,10	75,96
	2	11/09/17	0,97	24,00	27,80	25,00	19,10	84,02
	3	18/09/17	0,97	14,70	14,95	25,00	19,65	72,58
	4	25/09/17	0,99	13,65	3,98	25,00	20,41	62,36
	5	2/10/17	0,99	4,55	0,00	25,00	20,04	49,11
	Regular							

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.2. **BMWP**

A continuación, se muestran las tablas con el resumen de los datos calculados del BMWP.

Tabla X. **BMWP en parte alta del río Méndez, época seca**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Coleoptera	Hydroscaphidae-Myxophaga	3
	Coleoptera	Psephenidae-Eubriinae	7
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Diptera	Psychodidae- Psychoda alternata	3
	Diptera	Muscidae	2
	Total		

Continuación de la tabla X.

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
2	Coleoptera	Hydroscahidae-Myxophaga	3
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Culicidae	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Hydroscahidae-Myxophaga	3
	Diptera	Syrphidae-Eristalis tenax	1
	Mollusca	Hydrobiidae	3
	Total		
3	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Culicidae	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia (larva)	2
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Syrphidae-Eristalis tenax	1
	Total		
4	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Coleoptera	Hydroscahidae-Myxophaga	3
	Diptera	Culicidae	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	Total		
5	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	Diptera	Syrphidae-Eristalis tenax	1
	Total		
Muy mala			14,6

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XI. **BMWP en parte baja del río Méndez, época seca**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Muscidae	3
	Diptera	Muscidae-Limnophora	3
	Diptera	Psychodidae	3
	Diptera	Psychodidae-Pericoma	1
	Diptera	Psychodidae- Pschoda alternata	2
	Diptera	Syrphidae-Eristalis tenax	4
	Total		17
2	Coleoptera	Hydroscaphidae-Myxophaga	3
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Diptera	Psychodidae-Pericoma	3
	Diptera	Psychodidae- Pschoda alternata	3
	Diptera	Syrphidae-Eristalis tenax	1
	Total		15
3	Coleoptera	Psephenidae-Eubriinae	7
	Diptera	Ephyridaelarvae	2
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Diptera	Psychodidae- Pschoda alternata	3
	Diptera	Syrphidae-Eristalis tenax	1
	Total		18
4	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Psychodidae-Pericoma	3
	Diptera	Psychodidae- Pschoda alternata	3
	Total		8
5	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Psychodidae-Pericoma	3
	Diptera	Psychodidae- Pschoda alternata	3
	Diptera	Syrphidae-Eristalis tenax	1
	Total		11
Muy mala			13,8

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XII. **BMWP en parte alta del río Aceituno, época seca**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Annelida	Erpobdellidae	3
	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	Total		
2	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Muscidae-Limnophora	4
	Diptera	Syrphidae-Eristalis tenax	1
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
Total			18
3	Annelida	Erpobdellidae	3
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Muscidae-Limnophora	4
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
Total			22
4	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae-Plocladius, pupa	2
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	Total		

Continuación de la tabla XII.

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
5	Annelida	Erpobdellidae	3
	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Diptera	Psychodidae- Psychoda alternate	3
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
Total			20
Mala			18

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XIII. **BMWP en parte baja del río Aceituno, época seca**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Annelida	Erpobdellidae	3
	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	Mollusca	Physidae	3
	Total		
2	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Muscidae	2
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	Mollusca	Physidae	3
	Total		

Continuación de la tabla XIII.

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
3	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	Mollusca	Physidae	3
	Total		16
4	Annelida	Erpobdellidae	3
	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	3
	Coleoptera	Psephenidae-Eubriinae	7
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Mollusca	Physidae	3
Total		23	
5	Annelida	Erpobdellidae	3
	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Chironomidae-Psochoda alternata	3
	Diptera	Muscidae	2
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	Mollusca	Physidae	3
	Total		24
Mala		19,6	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XIV. **BMWP en parte alta del río Méndez, época lluviosa**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Hydroscahidae-Myxophaga	3
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Pychodidae-Pericoma	3
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	Total		14
2	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Total		3
3	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	Mollusca	Hydrobiidae	3
	Total		8
4	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	Total		7
5	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Pychodidae-Pericoma	3
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	Total		10
Muy mala			8,4

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XV. **BMWP en parte baja del río Méndez, época lluviosa**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Diptera	Muscidae	3
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	2
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	Total		7
2	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Muscidae	2
	Total		5
3	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Ephydridaeelarvae	2
	Total		4
4	Coleoptera	Hydroscaphidae-Myxophaga	2
	Coleoptera	Psephenidae-Eubriinae	2
	Total		4
5	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Pychodidae	3
	Diptera	Pychodidae-Pericoma	3
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Muscidae-Limnophora	4
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	Total		22
Muy mala			8,4

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XVI. **BMWP en parte alta del río Aceituno, época lluviosa**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Coleoptera	Hydrosaphidae-Myxophaga	3
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	Total		
2	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	Total		
3	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Total		
4	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Muscidae-Limnophora	4
	Diptera	Pychodidae-Pericoma	3
	Total		
5	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Muscidae	2
	Total		
Muy mala			8,4

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XVII. **BMWP en parte baja del río Aceituno, época lluviosa**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Total		3
2	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Total		5
3	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Muscidae	2
	Total		3
4	Coleoptera	Hydroscahidae-Myxophaga	3
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Total		7
5	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	Total		11
Muy mala			5,8

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XVIII. **Comportamiento general del ISQA**

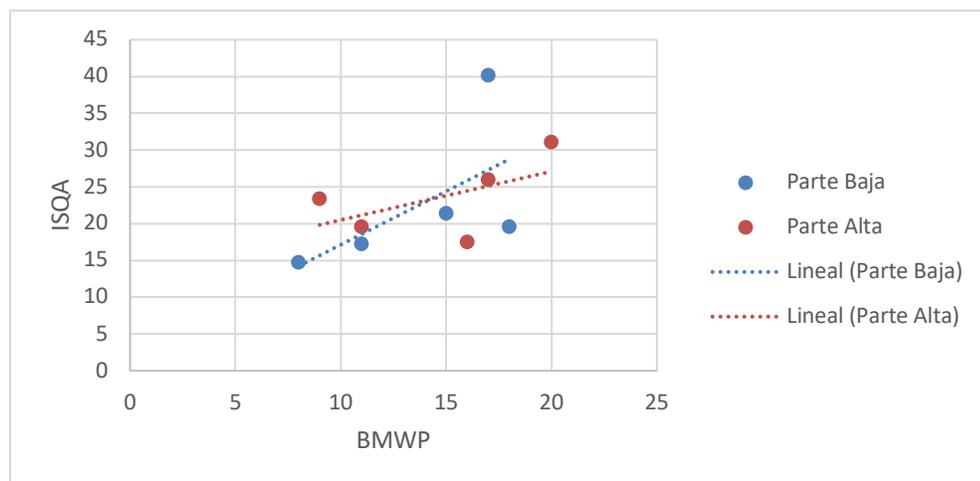
Río	Época de muestreo	ISQA	BMWP
Méndez	Seca	23,09	14,20
	Lluviosa	41,03	8,40
	General	32,06	11,30
Río	Época de muestreo	ISQA	BMWP
Aceituno	Seca	49,00	18,80
	Lluviosa	71,12	7,10
	General	60,06	12,95

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.3. Análisis de correlación entre ISQA y BMWP

A continuación, se muestra la correlación entre el índice simplificado de la calidad del agua y el índice biótico de los ríos Méndez y Aceituno.

Figura 4. **Correlación entre ISQA y BMWP del río Méndez, época seca**



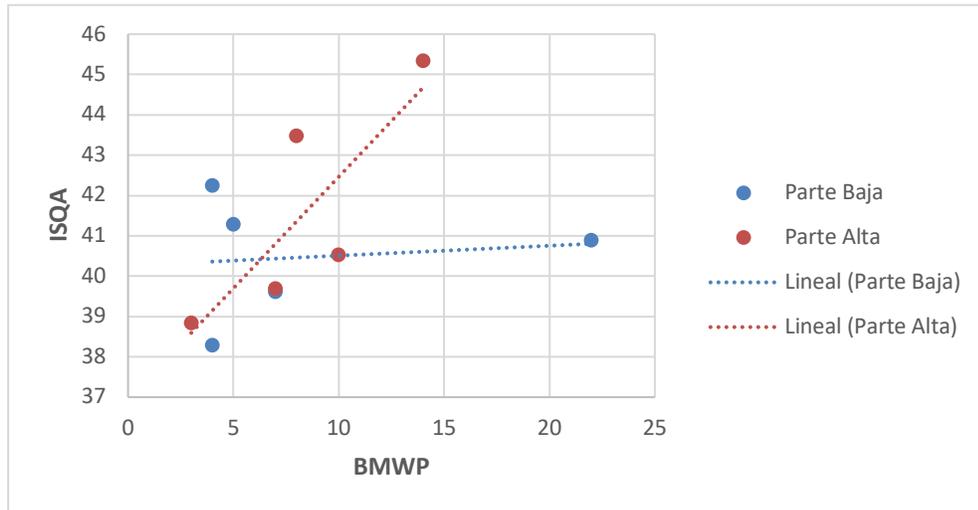
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XIX. **Análisis de correlación de Spearman del río Méndez, época seca**

Punto	BMWP	ISQA	Rango A	Rango B	di	di2	
Parte Alta	20,00	31,14	5,00	5,00	0,00	0,00	
	16,00	17,52	3,00	1,00	2,00	4,00	
	11,00	19,62	2,00	2,00	0,00	0,00	
	17,00	26,02	4,00	4,00	0,00	0,00	
	9,00	23,37	1,00	3,00	-2,00	4,00	
	Sumatoria						8,00
	rs						0,60
Parte Baja	BMWP	ISQA	Rango A	Rango B	di	di2	
	17,00	40,22	4,00	5,00	-1,00	1,00	
	15,00	21,40	3,00	4,00	-1,00	1,00	
	18,00	19,63	5,00	3,00	2,00	4,00	
	8,00	14,75	1,00	1,00	0,00	0,00	
	11,00	17,27	2,00	2,00	0,00	0,00	
	Sumatoria						6,00
	rs						0,70

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 5. **Correlación entre ISQA y BMWP del río Méndez, época lluviosa**



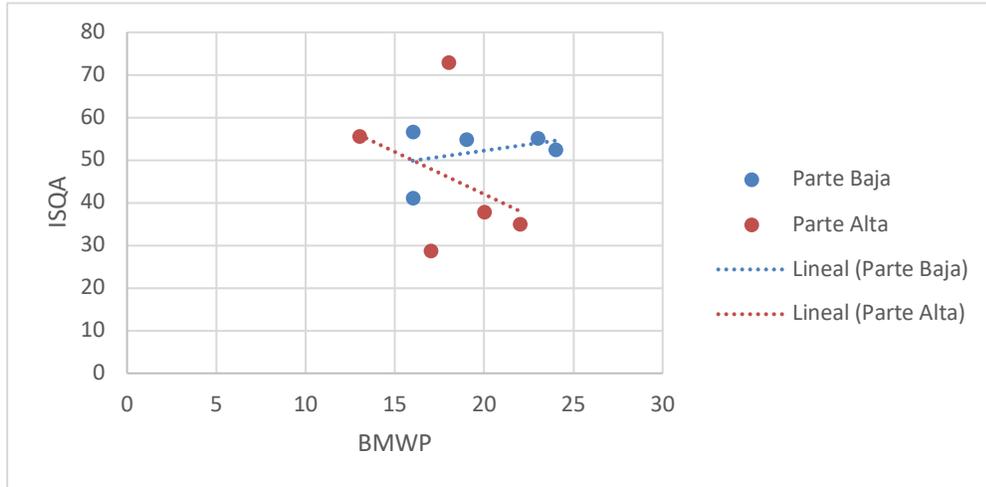
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XX. **Análisis de correlación de Spearman del río Méndez, época lluviosa**

Punto	BMWP	ISQA	Rango A	Rango B	di	di2	
Parte Alta	14,00	45,34	5,00	5,00	0,00	0,00	
	3,00	38,84	1,00	1,00	0,00	0,00	
	8,00	43,49	3,00	4,00	-1,00	1,00	
	7,00	39,70	2,00	2,00	0,00	0,00	
	10,00	40,53	4,00	3,00	1,00	1,00	
	Sumatoria						2,00
	rs						0,90
Parte Baja	BMWP	ISQA	Rango A	Rango B	di	di2	
	7,00	39,62	4,00	2,00	2,00	4,00	
	5,00	41,29	3,00	4,00	-1,00	1,00	
	4,00	42,25	1,50	5,00	-3,50	12,25	
	4,00	38,30	1,50	1,00	0,50	0,25	
	22,00	40,89	5,00	3,00	2,00	4,00	
	Sumatoria						21,50
	rs						-0,08

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 6. **Correlación entre ISQA y BMWP del río Aceituno, época seca**



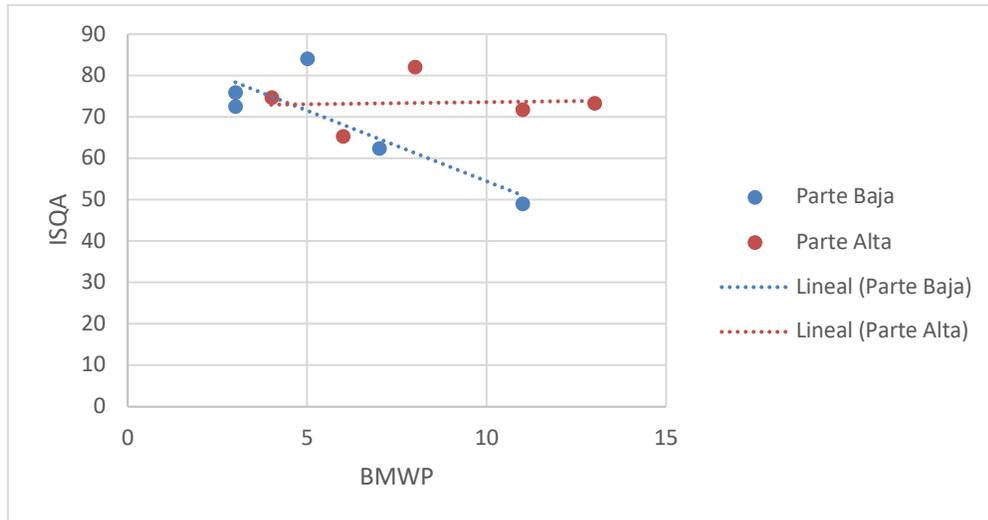
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXI. **Análisis de correlación de Spearman del río Aceituno, época seca**

Punto	BMWP	ISQA	Rango A	Rango B	di	di2	
Parte Alta	17,00	28,74	2,00	1,00	1,00	1,00	
	18,00	72,87	3,00	5,00	-2,00	4,00	
	22,00	34,98	5,00	2,00	3,00	9,00	
	13,00	55,61	1,00	4,00	-3,00	9,00	
	20,00	37,76	4,00	3,00	1,00	1,00	
	Sumatoria						24,00
	rs						-0,20
Parte Baja	BMWP	ISQA	Rango A	Rango B	di	di2	
	19,00	54,78	3,00	3,00	0,00	0,00	
	16,00	56,65	1,50	5,00	-3,50	12,25	
	16,00	41,03	1,50	1,00	0,50	0,25	
	23,00	55,13	4,00	4,00	0,00	0,00	
	24,00	52,43	5,00	2,00	3,00	9,00	
	Sumatoria						21,50
	rs						-0,08

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 7. **Correlación entre ISQA y BMWP del río Aceituno, época lluviosa**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXII. **Análisis de correlación de Spearman del río Aceituno, época lluviosa**

Punto	BMWP	ISQA	Rango A	Rango B	di	di2	
Parte Alta	13,00	73,28	5,00	3,00	2,00	4,00	
	4,00	74,65	1,00	4,00	-3,00	9,00	
	6,00	65,36	2,00	1,00	1,00	1,00	
	11,00	71,74	4,00	2,00	2,00	4,00	
	8,00	82,09	3,00	5,00	-2,00	4,00	
	Sumatoria						22,00
	rs						-0,10
Parte Baja	BMWP	ISQA	Rango A	Rango B	di	di2	
	3,00	75,96	1,50	4,00	-2,50	6,25	
	5,00	84,02	3,00	5,00	-2,00	4,00	
	3,00	72,58	1,50	3,00	-1,50	2,25	
	7,00	62,36	4,00	2,00	2,00	4,00	
	11,00	49,11	5,00	1,00	4,00	16,00	
	Sumatoria						32,50
	rs						-0,63

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se realizó el monitoreo de los ríos Méndez y Aceituno, ubicados en la zona 17 de la Ciudad de Guatemala, del cual se llevó a cabo en dos épocas del año, de la que se tomó como referencia dos puntos de muestreo; la parte alta y parte baja, mostrado en la figura 3. Para mayor exactitud se desarrolló la tabla IV y V, que muestra la ubicación en coordenadas de los puntos de muestreo de los ríos Méndez y Aceituno respectivamente. El estudio se inició con la recolección de datos de cinco muestreos que se realizaron en la época seca y cinco muestreos durante la época lluviosa.

Se recolectó información de diferentes especies de macroinvertebrados que luego de ser identificados según sus características taxonómicas, permitieron la determinación del BMWP, por otro lado se procedió a realizar un estudio a las muestras de agua según la medición de temperatura, conductividad eléctrica, demanda química de oxígeno, sólidos en suspensión y oxígeno disuelto; con la recolección de estos datos ubicados desde el apéndice 1 al apéndice 12 desde la tabla XXIII a la XXVI, se calculó y determinó el ISQA para los ríos Méndez y Aceituno, mostrado desde la tabla VI a la IX.

En la tabla VI, se observa la calidad del agua en la parte alta del río Méndez por medio del ISQA, durante la época seca, se obtuvo un valor promedio de 23,53, donde se determinó una pésima calidad del agua representada por el color rojo, quiere decir, que las aguas poseen una fermentación, olor considerable y son aguas consideradas como negras; durante la época lluviosa, se observó una mejora con un valor promedio de 41,58 representado con el color amarillo, indicando que son aguas contaminadas y el olor que posee es leve.

Los resultados del ISQA en la parte baja del río Méndez están demostrados en la tabla VII, se puede observar que durante la época seca existe pésima calidad de agua con un valor promedio de 22,65; y en la época lluviosa mejorando respecto a la época seca con un resultado promedio de 40,47. Tanto en la parte alta y baja del río Méndez se observa el comportamiento de mejora de los resultados del ISQA, pasando de pésima a mala calidad del agua, debido a que las aguas pluviales alimentan al río en época lluviosa permitiendo así la disminución en concentración de contaminantes que impiden una buena la calidad del agua.

En en la tablas VI y VII, se puede observar que en los puntos de muestreo del río Méndez tanto en época seca como en época lluviosa la demanda química de oxígeno relacionada con el parámetro A posee valores igual a 0, debido a la presencia de grandes cantidades de materia orgánica en la parte alta y parte baja del río, lo cual constituye un grado de contaminación elevado y se ve reflejado en el apéndice 1 y apéndice 2, con valores más relevantes de DQO en época seca de 802 mg/L y 830 mg/L, y en época lluviosa de 227 mg/L y 240 mg/L respectivamente.

La tabla VIII muestra los resultados del ISQA correspondientes a la parte alta del río Aceituno. Se determinó que en la época seca la calidad del agua en este punto es mala con un valor promedio de 45,99 y mejora la calidad del agua durante la época lluviosa con un valor promedio de 73,42 obteniendo aguas en estado regular, relacionando los resultados con la tabla III, la clasificación del ISQA representada según el código de colores con amarillo y verde respectivamente.

Según la tabla IX el resultado obtenido del ISQA para la parte baja del río Aceituno, se determinó que tanto en época seca como en época lluviosa, la

calidad del agua en este punto es regular con un valor promedio de 52,00 y 68,81 respectivamente. El agua posee claridad visual, inodora con fauna variada como los tepocates y caracoles.

En las tablas X y XI se observa la calidad del agua en parte alta y baja del río Méndez durante la época seca, por medio de la carga biótica macroinvertebrada representada por el BMWP, donde se obtuvo en valor promedio 14,6 y 13,8 respectivamente, para ambos valores menores a 15 lo que significa una muy mala calidad del agua con aguas extremadamente contaminadas; representada en color rojo según la clasificación y significado ecológico en la tabla II.

En el río Méndez se encontró 7 familias de macroinvertebrados de orden Diptera, familias de larvas acuáticas que resisten a la contaminación del río y se alimentan de desechos orgánicos. La calidad del agua por medio del índice BMWP en la época seca es mayor, ya que el caudal del río se reduce y la carga de contaminantes sólidos también, esto permite que puedan resistir al arrastre del caudal y existan más especies de macroinvertebrados.

El comportamiento en la época seca del río Aceituno, la parte alta y baja, se observa en las tablas XII y XIII los resultados del BMWP donde se obtuvo en valor promedio 18,0 y 19,6 respectivamente, ambos valores están en rango de 16 a 35, lo que significa una mala calidad del agua, son aguas muy contaminadas; y según la tabla II con la clasificación y significado ecológico, está representada por el color naranja.

Los resultados del BMWP en parte alta y baja del río Méndez en época lluviosa están ubicados en las tablas XIV y V, con valores promedios de 8,4 para ambos puntos de muestreo, demostrando que son aguas con muy mala calidad

con significado ecológico en color rojo según tabla II y con carga de contaminantes sólidos, donde se obtuvo mayor turbidez en comparación con la época seca, ya que existe mayor arrastre de materiales y sedimento que destruyen el hábitat y no permite la reproducción variada de las familias de macroinvertebrados, siendo la familia de las Dipteras las que sobresalen, información que se observa en el apéndice 9 y apéndice 10 respectivamente.

Los resultados del BMWP en parte alta y baja, del río Aceituno durante la época lluviosa están ubicados en las tablas XVI y XVII, con valores promedio de 8,4 y 5,8 respectivamente; demuestra una muy mala calidad de aguas con carga de contaminantes sólidos según la tabla II representada con color rojo, dando como resultado mayor turbidez en la época seca ya que existe mayor arrastre de materiales y sedimento que destruyen el hábitat y no permite la reproducción variada de familias de macroinvertebrados, por lo que las Diptera son las que se encuentran en mayor número, se observa en el apéndice 11 y apéndice 12 respectivamente.

La tabla XVIII muestra el ISQA por época de muestreo en el río Méndez, se mantiene en promedio anual con un de 32,06 y el BMWP con un valor promedio anual de 11,30; obteniendo como resultado aguas contaminadas que contienen olor fuerte y sustancias tóxicas significantes, por lo tanto, no permiten la reproducción variada en familias de macroinvertebrados. Por lo contrario el río Aceituno muestra una regular calidad del agua con valor promedio anual del ISQA de 60,06 y el BMWP con un valor de 12,95 dando como resultado aguas de calidad muy mala, se determinó que las aguas poseen contaminación moderada y eutrófica, esto significa que son aguas que arrastran poco sedimento, materia orgánica en menores cantidades y de poca turbidez, como consecuencia permiten obtener aguas claras a simple vista con familias de macroinvertebrados variadas como lo son los caracoles y tepocates.

En la figura 4 se presenta el análisis de correlación entre el ISQA y el BMWP de los puntos de muestreo para la época seca del río Méndez, se observa que en ambos puntos de muestreo el BMWP responde a los cambios o perturbaciones en los parámetros fisicoquímicos involucrados en la determinación del índice ISQA, esto se refleja también en la tabla XIX, dado que la parte alta y parte baja presenta una correlación positiva buena con valores de $r^2 = 0,6$ y $r^2 = 0,70$ respectivamente; esto quiere decir que a medida que el índice BMWP aumenta, el índice ISQA también aumenta.

En la figura 5 y tabla XX se presenta el análisis de correlación entre el ISQA y BMWP de los puntos de muestreo para la época lluviosa del río Méndez. La parte alta presenta una correlación positiva buena $r^2 = 0,9$; esto quiere decir que a medida que el índice BMWP aumenta, el índice ISQA también aumenta. La parte baja presenta una correlación negativa baja de $r^2 = 0,08$; demostrando que el índice BMWP no responde de forma significativa a los cambios en los parámetros fisicoquímicos involucrados en la determinación del índice ISQA; esto quiere decir que la biodiversidad de macroinvertebrados no se ve afectada significativamente por las condiciones fisicoquímicas del agua.

En la figura 6 y tabla XXI se presenta el análisis de correlación entre el ISQA y el BMWP de los puntos de muestreo para la época seca del río Aceituno. La parte alta y parte baja presenta una correlación negativa baja $r^2 = 0,2$ y $r^2 = 0,08$ respectivamente; esto representa que el índice BMWP no responde a los cambios o perturbaciones en los parámetros fisicoquímicos involucrados en la determinación del índice ISQA en los puntos a medida que en el índice BMWP; es decir la biodiversidad de macroinvertebrados no se ve afectada significativamente por las condiciones fisicoquímicas del agua.

Por medio de la figura 7 y tabla XXII se presenta el análisis de correlación del ISQA y BMWP de la parte alta y baja del río Aceituno durante la época lluviosa, de la cual se presenta una correlación con valores de $r^2 = 0,10$ y $r^2 = 0,63$; negativa baja y negativa moderada respectivamente; en ambos puntos de muestreo se representa que el BMWP no responde a los cambios o perturbaciones en los parámetros fisicoquímicos involucrados en la determinación del ISQA, es decir, la biodiversidad de macroinvertebrados no se ve afectada significativamente por las condiciones fisicoquímicas del agua.

CONCLUSIONES

1. La calidad del agua dado por el ISQA en el río Méndez en la parte alta y baja, según la clasificación en la tabla III, es pésima en época seca con valores promedios de 23,53 y 22,65; durante época lluviosa en parte alta y baja, según la clasificación en la tabla III, la calidad del agua es mala con valores promedio del de 41,58 y 40,47 representados en las tablas VI y VII respectivamente. Para el río Aceituno en la época seca, la calidad del agua es mala en la parte alta con valor promedio de 45,99 y en la parte baja es regular con valor promedio de 52,00; durante la época lluviosa en la parte alta y baja, la calidad del agua es regular con valores 73,42 y 68,81 representados en las tablas VIII y IX respectivamente.
2. La calidad del agua dado por el BMWP en el río Méndez en la parte alta y baja, según la clasificación en la tabla II, es muy mala en época seca con valores promedios de 14,6 y 13,8 respectivamente; durante época lluviosa en parte alta y baja, según la clasificación en la tabla II, la calidad del agua es muy mala con valores promedio de 8,4 en ambos puntos de muestreo representados en las tablas XIV y XV respectivamente. Para el río Aceituno en la época seca, la calidad del agua es mala según la clasificación en la tabla II, en la parte alta con valor promedio de 18 y en la parte baja es regular con valor promedio de 19,6; durante la época lluviosa en la parte alta y baja, la calidad del agua es muy mala con valores 8,4 y 5,8; representados en las tablas XVI y XVII respectivamente.

3. No existe correlación lineal entre los parámetros fisicoquímicos del ISQA y la carga biótica de los macroinvertebrados representados en el BMWP, durante la época seca y lluviosa.

4. Se obtuvo una mejora notoria durante la época lluviosa en la calidad del agua reflejado en el ISQA en la tabla XVIII, debido a que las aguas pluviales alimentan al río en época lluviosa permitiendo así la disminución en concentración de contaminantes que impiden una buena la calidad del agua.

RECOMENDACIONES

1. Fomentar el uso de la carga biótica de los macroinvertebrados como una opción efectiva para evaluar la calidad del agua en los ríos.
2. Analizar en tres puntos de muestreo distintos las mediciones para obtener un comportamiento de la calidad del agua del río.
3. Establecer plantas de tratamiento de agua en industrias cercanas a los ríos para reducir la contaminación.
4. Prohibir la instalación de vertederos de basura a un lado de caudales de ríos.
5. Implementar programas de educación del buen manejo de los desechos y residuos químicos domésticos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACUÑA CAMPOS, Esteban Stuardo. *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*. Trabajo de graduación de Ingeniería Ambiental. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 1-2 p.
2. AJCABUL, Ángel. *Análisis comparativo entre el Índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el Índice de calidad del agua (ICA), aplicados al monitoreo de aguas superficiales en el río La Quebrada, El Frutal*. Trabajo de graduación Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 3 p.
3. ÁLVAREZ, Luisa. *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2005. 68 p.
4. CAMPOS GÓMEZ, Irene. *Saneamiento ambiental*. San José, Costa Rica: EUNED, 2003. 248 p.

5. ISIDRO SEBASTIAN, Glenda Yesenia. *Evaluación de la calidad del agua del río Molino, ubicado en la zona 11 ciudad de Guatemala, mediante el índice simplificado de calidad de Agua (ISQA) y el índice biótico BMWP*. Trabajo de graduación de Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2019. 82 p.
6. JOHNSON, Robert. *Estadística elemental*. 64 p.
7. LÓPEZ SALAZAR, Odalis Ivette. *Determinación de la calidad ambiental del agua, mediante índices bióticos y fisicoquímicos en la microcuenca del río Agua Tibia, zona 24*. Trabajo de graduación de Ing. Ambiental. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2016. 140 p.
8. MÉNDEZ SPIEGELER, Silvia Alejandra. *Determinación de la influencia de las características fisicoquímicas medidas a través del índice simplificado de calidad del agua (ISQA), sobre la biota medida a través del índice biótico BMWP en la microcuenca del río Contreras del municipio de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Ambiental. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2015. 163 p.
9. RIOS MORENO, Antonio. *Índice simplificado de calidad de aguas (ISQA)*. [En línea]. <<http://www.mailxmail.com/curso-agua-calidad-contaminacion-2-2/indice-simplificado-calidadaguas-isqa>>. [Consulta: 17 abril de 2017].

10. RIVERA MÉNDEZ, Jorge Leonel. *Determinación de los índices de calidad y coeficientes cinéticos de auto depuración del agua, en la parte alta de la cuenca del río Naranjo, ubicada en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango*. Trabajo de graduación de Maestro en Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, 2008. 162 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Datos para el cálculo de ISQA del río Méndez, época seca

Fecha	Muestreo	Parte del río	T °C	DQO mg/L	SST mg/L	CE µS/cm	O ₂ mg/L
08/03/2017	1	Alta	21,03	220	420,00	299,50	5,69
		Baja	18,08	304	80,00	5,00	5,57
14/03/2017	2	Alta	20,59	542	755,00	412,15	0,99
		Baja	22,54	503	287,00	366,60	2,46
21/03/2017	3	Alta	19,58	414	220,00	534,50	1,83
		Baja	19,59	414	220,00	534,50	1,83
28/03/2017	4	Alta	21,56	608	3,18	374,00	203,3
		Baja	23,85	646	38,00	709,00	1,59
04/04/2017	5	Alta	16,87	802	186,60	422,40	1,77
		Baja	21,87	830	300,00	600,90	2,01

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

**Apéndice 2. Datos para el cálculo del ISQA del río Méndez,
época lluviosa**

Fecha	Muestreo	Parte del río	T °C	DQO mg/L	SST mg/L	CE µS/cm	O ₂ mg/L
04/09/2017	1	Alta	22,63	64	24,00	878,00	6,15
		Baja	23,76	86	25,00	888,80	4,12
11/09/2017	2	Alta	21,57	64	179,00	873,40	17,71
		Baja	22,17	73	140,78	853,90	16,09
18/09/2017	3	Alta	22,03	227	103,00	915,60	14,51
		Baja	22,15	240	120,00	917,50	14,50
25/09/2017	4	Alta	20,78	98	157,00	1024,00	118,02
		Baja	20,98	77	198,00	811,60	110,59
02/10/2017	5	Alta	21,09	113	139,00	1062,70	120,70
		Baja	21,71	128	131,00	1044,90	129,28

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

**Apéndice 3. Datos para el cálculo del ISQA del río Aceituno,
época seca**

Fecha	Muestreo	Parte del río	T °C	DQO mg/L	SST mg/L	CE µS/cm	O ₂ mg/L
08/03/2017	1	Alta	19,18	449	1480,0	404,00	5,38
		Baja	13,79	10	280,0	404,00	7,79
14/03/2017	2	Alta	21,36	5	72,00	365,00	7,58
		Baja	20,67	21	9,00	439,40	2,03
21/03/2017	3	Alta	20,97	22	162,50	593,30	1,50
		Baja	19,68	140	45,00	417,90	3,08
28/03/2017	4	Alta	19,57	20	41,40	438,00	3,22
		Baja	21,84	15	25,80	393,50	1,63
04/04/2017	5	Alta	16,64	10	378,00	449,90	1,27
		Baja	20,47	15	49,50	528,10	2,37

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Apéndice 4. **Datos para el cálculo del ISQA del río Aceituno, época lluviosa**

Fecha	Muestreo	Parte del río	T °C	DQO mg/L	SST mg/L	CE µS/cm	O ₂ mg/L
04/09/2017	1	Alta	22,15	11	3,81	253,00	3,81
		Baja	23,59	12	5,06	265,70	5,06
11/09/2017	2	Alta	21,03	100	18,69	211,70	18,69
		Baja	21,76	48	19,86	228,80	19,86
18/09/2017	3	Alta	21,67	112	10,79	190,00	10,79
		Baja	21,85	67	17,92	210,90	17,92
25/09/2017	4	Alta	20,74	123	134,93	231,70	134,93
		Baja	20,86	186	143,41	188,30	143,41
02/10/2017	5	Alta	21,35	69	133,12	205,10	133,12
		Baja	20,77	816	143,09	198,80	143,09

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Apéndice 5. **Cálculo del BMWP del río Méndez parte alta, época seca**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Coleoptera	Hydroscaphidae-Myxophaga	3
	Coleoptera	Psephenidae-Eubriinae	7
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Diptera	Psychodidae- Psychoda alternata	3
	Diptera	Muscidae	2
	BMWP muestreo 1		
2	Coleoptera	Hydroscaphidae-Myxophaga	3
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Culicidae	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Hydroscaphidae-Myxophaga	3
	Diptera	Syrphidae-Eristalis tenax	1
	Mollusca	Hydrobiidae	3
BMWP muestreo 2			16

Continuación del apéndice 5.

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
3	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Culicidae	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Syrphidae-Eristalis tenax	1
	BMWP muestreo 3		
4	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Coleoptera	Hydroscaphidae-Myxophaga	3
	Diptera	Culicidae	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	BMWP muestreo 4		
5	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	Diptera	Syrphidae-Eristalis tenax	1
	BMWP muestreo 5		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

**Apéndice 6. Cálculo del BMWP del río Méndez parte baja,
época seca**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Muscidae	3
	Diptera	Muscidae-Limnophora	3
	Diptera	Psychodidae	3
	Diptera	Psychodidae-Pericoma	1
	Diptera	Psychodidae- Pschoda alternata	2
	Diptera	Syrphidae-Eristalis tenax	4
		BMWP muestreo 1	17
2	Coleoptera	Hydroscaphidae-Myxophaga	3
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Diptera	Psychodidae-Pericoma	3
	Diptera	Psychodidae- Pschoda alternata	3
	Diptera	Syrphidae-Eristalis tenax	1
		BMWP muestreo 2	15
3	Coleoptera	Psephenidae-Eubriinae	7
	Diptera	Ephyridaelarvae	2
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Diptera	Psychodidae- Pschoda alternata	3
	Diptera	Syrphidae-Eristalis tenax	1
		BMWP muestreo 3	18
4	Diptera	Musidae	2
	Diptera	Psychodidae-Pericoma	3
	Diptera	Psychodidae- Pschoda alternata	3
			BMWP muestreo 4
5	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Psychodidae-Pericoma	3
	Diptera	Psychodidae- Pschoda alternata	3
	Diptera	Syrphidae-Eristalis tenax	1
		BMWP muestreo 5	11

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Apéndice 7. **Cálculo del BMWP del río Aceituno parte alta,
época seca**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Annelida	Erpobdellidae	3
	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	BMWP muestreo 1		
2	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Muscidae-Limnophora	4
	Diptera	Syrphidae-Eristalis tenax	1
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	BMWP muestreo 2		
3	Annelida	Erpobdellidae	3
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Muscidae-Limnophora	4
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	BMWP muestreo 3		

Continuación del apéndice 7.

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
4	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae-Plocladius, pupa	2
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	BMWP muestreo 4		
5	Annelida	Erpobdellidae	3
	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Diptera	Psychodidae-Pschoda alternate	3
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	BMWP muestreo 5		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Apéndice 8. **Cálculo del BMWP del río Aceituno parte baja, época seca**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Annelida	Erpobdellidae	3
	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	Mollusca	Physidae	3
	BMWP muestreo 1		

Continuación del apéndice 8.

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
2	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Muscidae	2
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	Mollusca	Physidae	3
	BMWP muestreo 2		
3	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	Mollusca	Physidae	3
	BMWP muestreo 3		
4	Annelida	Erpobdellidae	3
	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	3
	Coleoptera	Psephenidae-Eubriinae	7
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Mollusca	Physidae	3
	BMWP muestreo 4		
5	Annelida	Erpobdellidae	3
	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Chironomidae-Psochoda alternata	3
	Diptera	Muscidae	2
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	Mollusca	Physidae	3
	BMWP muestreo 5		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

**Apéndice 9. Cálculo del BMWP del río Méndez parte alta,
época lluviosa**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Annelida	Oligochaeta	1
	Coleoptera	Hydroscaphidae-Myxophaga	3
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Pychodidae-Pericoma	3
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	BMWP muestreo 1		
2	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	BMWP muestreo 2		
3	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	Mollusca	Hydrobiidae	3
	BMWP muestreo 3		
4	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	BMWP muestreo 4		
5	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Pychodidae-Pericoma	3
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	BMWP muestreo 5		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Apéndice 10. **Datos para el cálculo del BMWP del río Méndez parte baja, época lluviosa**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Diptera	Muscidae	3
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	2
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	BMWP muestreo 1		7
2	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Muscidae	2
	BMWP muestreo 2		5
3	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Ephydridae larvae	2
	BMWP muestreo 3		4
4	Coleoptera	Hydroscaphidae-Myxophaga	2
	Coleoptera	Psephenidae-Eubriinae	2
	BMWP muestreo 4		4
5	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Pychodidae	3
	Diptera	Pychodidae-Pericoma	3
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Muscidae-Limnophora	4
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	BMWP muestreo 5		22

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Apéndice 11. **Cálculo del BMWP del río Aceituno parte alta, época lluviosa**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Coleoptera	Hydroscaphidae-Myxophaga	3
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	BMWP muestreo 1		
2	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Ephemeroptera	Tortopus incertus	2
	BMWP muestreo 2		
3	Coleoptera	Dytiscidae	4
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	BMWP muestreo 3		
4	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Muscidae-Limnophora	4
	Diptera	Pychodidae-Pericoma	3
	BMWP muestreo 4		
5	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Muscidae	2
	BMWP muestreo 5		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

**Apéndice 12. Cálculo del BMWP del río Aceituno parte baja,
época lluviosa**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	BMWP muestreo 1		3
2	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	BMWP muestreo 2		5
3	Annelida	Oligochaeta	1
	Diptera	Muscidae	2
	BMWP muestreo 3		3
4	Coleoptera	Hydroscaphidae-Myxophaga	3
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	BMWP muestreo 3		7
5	Diptera	Ceratopogonidae-Bezzia	2
	Diptera	Chironomidae-Ablabesmyia, larva	2
	Diptera	Chironomidae- Plocladius, pupa	2
	Diptera	Muscidae	2
	Diptera	Pychodidae- Pschoda alternata	3
	BMWP muestreo 5		11

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Apéndice 13. Parte alta del río Méndez



Fuente: elaboración propia, Río Méndez.

Apéndice 14. Parte baja del río Méndez



Fuente: elaboración propia, Río Méndez.

Apéndice 15. **Parte alta del río Aceituno**



Fuente: elaboración propia, Río Méndez.

Apéndice 16. **Parte baja del río Aceituno**



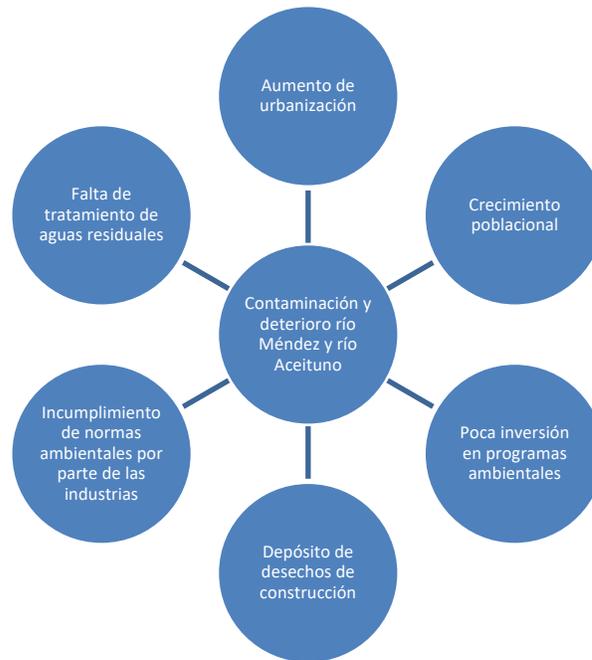
Fuente: elaboración propia, Río Méndez.

Apéndice 17. Requisitos académicos

Campos de conocimiento	Carrera	Área	Curso	Tema específico	Temática a resolver	
Ingeniería y tecnología	Ingeniería química	Química	Análisis cualitativo	pH	Manejo de distintos parámetros físicos, químicos y biológicos.	
			Análisis cuantitativo	Solubilidad		
			Análisis instrumental	Valoración de métodos	Interpretación de análisis.	
			Química ambiental	Impacto ambiental		
		Área de especialización	Microbiología	Tipos de bacterias	Grupos que conforman los coliformes	Métodos de determinación de presencia de microorganismos y medios de reproducción.
		Área de ciencias básicas y complementarias	Matemática básica 1	Ecuaciones algebraicas		Cálculo de medias aritméticas.
				Gráficas polinomiales		Interpretación de gráficas.
			Estadística 1	Estadística descriptiva		Proporcionar elementos matemáticos que expliquen fenómenos.
				VARIABLES aleatorias		
			Calidad del agua	Indices de calidad del agua		Aplicación de metodología e interpretación de datos sobre la calidad del agua. Puntos de muestreo y captación de los mismos.
			Control de contaminantes industriales	Métodos de preservación		
				Plan de monitoreo ambiental		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Apéndice 18. Árbol de problema



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

