



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

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE LOS ÍNDICES
FISICOQUÍMICOS Y BIÓTICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO MARRULLERO, ZONA 2,
CIUDAD DE GUATEMALA, GUATEMALA**

Arlene 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 DEL AGUA MEDIANTE LOS ÍNDICES
FISICOQUÍMICOS Y BIÓTICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO MARRULLERO, ZONA 2,
CIUDAD DE GUATEMALA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ARLENE 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 Armando 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
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdéz
EXAMINADORA	Inga. Mercedes Esther Roquel Chávez
EXAMINADOR	Ing. Pablo Enrique Morales Paniagua
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 DEL AGUA MEDIANTE LOS ÍNDICES
FISICOQUÍMICOS Y BIÓTICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO MARRULLERO, ZONA 2,
CIUDAD DE GUATEMALA, GUATEMALA**

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

Arlene Jocabed Coloma Leiva

Guatemala 12 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: "DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE LOS ÍNDICES FISICOQUÍMICOS Y BIÓTICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO MARRULLERO, ZONA 2, CIUDAD DE GUATEMALA, GUATEMALA", elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Arlene Jocabed Coloma Leiva, quien se identifica con el registro académico 2009-15202 y con el CUI 1790 97210 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, 20 de julio de 2021.
Ref. EIQ.TG-IF.022.2021.

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **026-2017**, 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: **Arlene Jocabed Coloma Leiva**.
Identificado con número de carné: **1790972100101**.
Identificado con registro académico: **200915202**.
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 DEL AGUA MEDIANTE LOS ÍNDICES FÍSICOQUÍMICOS Y BIÓTICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO MARRULLERO, ZONA 2, CIUDAD DE GUATEMALA, 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”

[Handwritten signature]
23
Escuela de Ingeniería Química
ÁREA TRABAJOS
GRADUACIÓN
Casta Petrona Zecena Zecena
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo





Guatemala, 6 de octubre de 2021
Ref. EIQ.201.2021

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 DEL AGUA MEDIANTE LOS ÍNDICES FISCOQUÍMICOS Y BIÓTICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO MARRULLERO, ZONA 2, CIUDAD DE GUATEMALA, GUATEMALA** del(la) estudiante Arlene 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 Méndez, M.Sc. M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



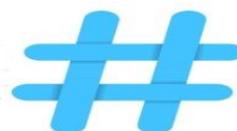
Cc. Archivo
WGAM/wgam



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. 480-2021

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 DEL AGUA MEDIANTE LOS ÍNDICES FISICOQUÍMICOS Y BIÓTICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO MARRULLERO, ZONA 2, CIUDAD DE GUATEMALA, GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Arlene 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/cc.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Gracias Papá Dios por darme a conocer secretos sorprendentes, por lo que permites en mi vida, toda la gloria y honra sea para ti.
Mis padres	Ingrid Arlene Leiva Willis de Coloma y Hugo Eliú Coloma Junay. Su amor y apoyo incondicional será siempre mi inspiración. Los amo.
Mis hermanas y hermano	Andrea, Ingrid y Pablo Coloma. Por todo su amor, apoyo y ser de bendición en mi vida y carrera. Los amo.
A tía Nora	Gracias por todo tu amor y apoyo incondicional, eres una bendición de Dios en mi vida, te amo.
A Familia Cuá Muñoz	Por mostrarme todo su amor y apoyo incondicional. Dios los bendiga, Los amo.
Mi familia	Mis primos y tíos por cada palabra de ánimo, apoyo incondicional y ser parte de cada etapa de mi vida. Los amo.
Mis amigos	Muchas gracias por todo su apoyo, son una gran bendición de Dios en todo momento. Los amo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme las herramientas necesarias para poder desarrollarme profesionalmente.
Facultad de Ingeniería	Por todas las oportunidades que me ha brindado, agradezco la ayuda de mis catedráticos y los copiosos conocimientos que me han concedido.
Escuela de Ingeniería Química	A cada catedrático que ha dedicado tiempo para impartir conocimiento integral en el desarrollo de esta hermosa carrera profesional.
Ing. Jorge Mario Estrada Asturias	Por compartir su amplia experiencia en el tema, y brindarme su apoyo profesional en cada momento.
Municipalidad de Guatemala, Dirección de Medio Ambiente	Por darme la oportunidad de realizar el presente estudio de investigación, por el acompañamiento y asesoría durante el desarrollo del proyecto.
Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria	Por su apoyo en la realización de las diferentes pruebas y análisis para el desarrollo del presente estudio de investigación.

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 TEÓRICO.....	5
2.1. Calidad del agua.....	5
2.1.1. Parámetros físicos	6
2.1.2. Parámetros químicos.....	7
2.1.2.1. Indicadores	7
2.1.2.2. Sustancias químicas.....	8
2.1.3. Parámetros biológicos	8
2.2. Contaminación del agua	9
2.2.1. Origen de la contaminación del agua	9
2.2.2. Contaminación de origen natural.....	9
2.2.3. Contaminación de origen antropogénica	10
2.2.4. Sustancias que contaminan el agua	11
2.3. Monitoreo del agua.....	13
2.4. Índices de calidad del agua	14
2.5. Índice ISQA	15

2.5.1.	Interpretación del índice ISQA.....	16
2.6.	Índice biótico BMWP	17
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	21
3.1.	Variables	21
3.2.	Delimitación de campo de estudio	22
3.3.	Recursos humanos disponibles	24
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	25
3.4.1.	Equipo de protección personal	25
3.4.2.	Equipo para recolección de muestras	25
3.4.3.	Cristalería y equipo para análisis de laboratorio	26
3.4.4.	Reactivos.....	26
3.5.	Técnica de estudio	27
3.5.1.	Índice simplificado de calidad del agua ISQA...27	
3.5.2.	Índice biótico BMWP	27
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	27
3.6.1.	Índice simplificado de calidad del agua ISQA...28	
3.6.1.1.	Procedimiento de muestreo.....	28
3.6.1.1.1.	Análisis de muestras	29
3.6.2.	Índice biótico BMWP	29
3.6.2.1.	Procedimiento de muestreo.....	29
3.6.2.1.1.	Análisis de muestras de macroinvertebrados	30
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	31
3.7.1.	Tabulación y ordenamiento de la información ..	31

3.7.1.1.	Índice simplificado de calidad del agua, ISQA	32
3.7.1.2.	Índice biótico BMWP.....	32
3.7.2.	Procesamiento de la información.....	32
3.7.2.1.	Modelo para la determinación del índice simplificado de la calidad del agua.....	32
3.7.2.2.	Método para la determinación del BMWP	34
3.8.	Análisis estadístico	34
3.8.1.	Coeficiente de correlación de <i>Spearman</i>	35
3.8.2.	Media muestral de un conjunto de números	36
4.	RESULTADOS	37
4.1.	Índice simplificado de la calidad del agua ISQA.....	37
4.2.	Índice biótico de macroinvertebrados BMWP	39
4.3.	Análisis de correlación entre los índices ISQA y BMWP ...	43
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	47
	CONCLUSIONES	51
	RECOMENDACIONES.....	53
	BIBLIOGRAFÍA.....	55
	APÉNDICES	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación satelital de los puntos de muestreo, microcuenca del río Marrullero.....	23
2.	Ubicación de los puntos de muestreo, microcuenca del río Marrullero	24
3.	Correlación entre los índices ISQA y BMWP, parte media y parte baja, correspondiente a la época seca.....	43
4.	Correlación entre los índices ISQA y BMWP, parte media y parte baja, correspondiente a la época lluviosa	45

TABLAS

I.	Clasificación de la calidad del agua según el ISQA	16
II.	Lista de macroinvertebrados para el índice BMWP-CR	18
III.	Clasificación de calidad del agua según índice BMWP.....	20
IV.	Variables en el monitoreo.....	21
V.	Ubicación de los puntos de muestreo	31
VI.	Índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), parte media zona 6, época seca y época lluviosa.....	37
VII.	Índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), parte baja zona 2, época seca y época lluviosa.....	38
VIII.	Índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte media zona 6, época seca	39

IX.	Índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte baja zona 2, época seca.....	40
X.	Índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte media zona 6, época lluviosa	41
XI.	Índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte baja zona 2, época lluviosa.....	42
XII.	Índice de calidad del agua por época de muestreo y en general	42
XIII.	Análisis de correlación por rangos de <i>Spearman</i> entre los índices ISQA y BMWP, parte media y parte baja, correspondiente a la época seca.....	44
XIV.	Análisis de correlación por rangos de <i>Spearman</i> entre los índices ISQA y BMWP, parte media y parte baja, correspondiente a la época lluviosa.....	46

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetros
r_s	Coeficiente de correlación de <i>Spearman</i>
CE	Conductividad eléctrica
A	Factor A ISQA
B	Factor B ISQA
C	Factor C ISQA
D	Factor D ISQA
T	Factor T ISQA
°C	Grados centígrados
μS	Microsiemens
$\mu\text{S/cm}$	Microsiemens sobre centímetro
mg	Miligramos
mg/l	Miligramos sobre litro
mm	Milímetros
NA	No Aplica
O₂	Oxígeno
OD	Oxígeno disuelto
SST	Sólidos suspendidos totales
T	Temperatura

GLOSARIO

Afluente	Río secundario que desemboca en otro considerado como principal.
Agua potable	Agua apta para consumo humano, utilizada para fines domésticos y la higiene personal, así como para beber y cocinar.
Agua residual	Líquidos utilizados en las actividades diarias de una ciudad.
Antropogénico	Se refiere a los efectos, procesos o materiales que son resultado de actividades humanas sobre el medio ambiente.
Bioindicador	Especie animal o vegetal que refleja el estado abiótico o biótico del medio ambiente.
Biota	Conjunto de fauna y flora de una determinada región.
BMWP	<i>Biological monitoring working party</i> . Índice biológico utilizado para medir la calidad del agua utilizando familias de macroinvertebrados como indicadores.

BMWP/Col	<i>Biological monitoring working party adaptado para Colombia.</i> Índice biológico utilizado para medir la calidad del agua utilizando familias de macroinvertebrados como indicadores.
BMWP-CR	<i>Biological monitoring working party adaptado para Costa Rica.</i> Índice biológico utilizado para medir la calidad del agua utilizando familias de macroinvertebrados como indicadores.
Calidad del agua	Es una medida de la condición del agua con base en sus características biológicas, físicas, radiológicas y químicas.
Correlación	Asociación estadística que se refiere al grado en que un par de variables están relacionadas linealmente.
DQO	Demanda Química de oxígeno, es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltos o se encuentran en suspensión en una muestra líquida.
Época seca	Temporada climática cuando la lluvia es escasa y abundan los días cálidos y soleados.
Época lluviosa	Temporada climática cuando abundan los días nublados y lluviosos.

Estaciones climáticas	Periodos en los que las condiciones climáticas se mantienen en una determinada región dentro de ciertos rangos.
Familia	Es una clasificación biológica que permite agrupar a los organismos vivos según ciertas características comunes.
Cuerpo hídrico	Depósito natural donde se acopia agua, como ríos, lagos, lagunas, riachuelos, entre otros.
IBF 20120-SV	Índice biológico utilizado en el país de El Salvador para medir la calidad del agua utilizando familias de macroinvertebrados como indicadores.
ISQA	Índice simplificado de calidad del agua, se basa en cinco parámetros fisicoquímicos tomados de un cuerpo de agua que determina la calidad del agua.
IQA	Índice de calidad de Agua, es el número que indica una agregación de las condiciones físicas, químicas y en algunos casos microbiológicas del cuerpo de agua, el cual da indicios de los problemas de contaminación.
Macroinvertebrados	Animales invertebrados con tamaños superiores a los 0,5 mm, habitan en sistemas acuáticos de agua dulce. Están incluidos insectos, moluscos y anélidos.

Microcuenca	Son los afluentes a los ríos secundarios, entiéndase por caños, quebradas, riachuelos que desembocan y alimentan a los ríos secundarios.
Monitoreo	Observación del curso de uno o más parámetros para detectar eventuales cambios.
Río	Es una corriente natural de agua que fluye con continuidad por un cauce en la superficie terrestre.
Sólidos Suspendidos Totales	Parámetro utilizado en la calificación de la calidad del agua y en el tratamiento de aguas residuales.
SDT	Sólidos disueltos totales, es una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o en forma de suspensión microgranular.
Turbidez	Medida de grado de transparencia que pierde el agua por la presencia de partículas en suspensión.

RESUMEN

La extensión de la contaminación hídrica en la ciudad de Guatemala ha dado como efecto la búsqueda de alternativas para el abastecimiento del recurso hídrico. Dentro de los planes de acción del cinturón Ecológico Metropolitano de la Ciudad de Guatemala administrado por la municipalidad de Guatemala, se monitorean diferentes microcuencas en municipio de Guatemala.

En el presente trabajo se realizó el monitoreo del río Marrullero ubicado en la zona 2 de la ciudad de Guatemala, cuyo objetivo fue evaluar la calidad del agua mediante el índice ISQA y el índice BMWP. El estudio se realizó en dos puntos de muestro ubicados en la parte media y baja del río tanto en época seca como en época lluviosa.

Se determinó el BMWP-CR, tomando una muestra representativa tanto de la parte media y baja la calidad del agua fue muy crítica, la calidad del agua por medio del índice ISQA del río Marrullero en la parte media y baja es mala para la época seca y regular en la época lluviosa.

Por medio de un análisis estadístico se determinó que no existe correlación lineal entre los parámetros fisicoquímicos del índice ISQA sobre la carga biótica de macroinvertebrados del BMWP. Al cambiar de época seca a época lluviosa la calidad del agua mejoro de mala a regular determinándolo por medio del índice ISQA. Después de determinar los índices en ambos puntos de muestreo y ambas épocas, se proyectaron dichos valores en el mapa del río, empleando el software para sistema de información geográfica Google earth.

OBJETIVOS

General

Determinar la calidad del agua mediante los índices fisicoquímicos y bióticos en la microcuenca del río Marrullero ubicado en la zona 2, de la ciudad de Guatemala, Guatemala.

Específicos

1. Valorar numéricamente la calidad fisicoquímica del agua del río Marrullero a partir del ISQA en la época seca y lluviosa.
2. Ponderar la calidad del agua del río Marrullero a partir del Índice BMWP-CR durante la época seca y lluviosa.
3. Realizar una comparación de los resultados sobre la calidad del agua, entre la valoración por el índice fisicoquímico ISQA y el índice biótico BMWP-CR para ponderar la calidad del agua del río.
4. Georreferenciar la información de los puntos de muestreo del a microcuenca del río Marrullero para alimentar la base de datos de la Municipalidad de Guatemala.

Hipótesis

Hipótesis de trabajo

El valor de los índices de contaminación será mayor en la época climática seca que en la época climática lluviosa, ya que existe una influencia de los parámetros fisicoquímicos del índice ISQA sobre la carga biótica de macroinvertebrados expresada como el índice BMWP, en el cauce del río Marrullero.

Hipótesis estadísticas

- Hipótesis nula

No existe correlación lineal directamente proporcional entre los índices ISQA y BMWP en función de la época estacional para el río Marrullero.

- Hipótesis alternativa

Si existe correlación lineal directamente proporcional entre los índices ISQA y BMWP en función de la época estacional para el río Marrullero.

INTRODUCCIÓN

Desde hace varias décadas en Guatemala se han propuesto y empleado los índices de calidad de las aguas, los cuales tienen como propósito facilitar las características positivas o negativas de cualquier fuente de agua superficial. El recurso hídrico es altamente afectado por la manipulación humana y disminuye cada vez su disponibilidad afectando la calidad disminuyendo su cantidad. Actualmente dentro de la ciudad de Guatemala no se cuenta con el servicio de agua potable y se ve la necesidad de utilizar pozos o en otro caso utilizar las fuentes hídricas de cuencas con el fin de cubrir la demanda de este recurso vital.

El río Marrullero en su travesía por la ciudad de Guatemala se ha visto afectado por la creciente población que le rodea con el fin de cubrir la demanda ha provocado la contaminación de los ecosistemas acuáticos provenientes de urbanizaciones, zonas industriales, entre otros. La contaminación que presenta es de tipo fisicoquímico y biológico; por tal razón se ha integrado el análisis fisicoquímico de las aguas, el índice ISQA que valora la calidad ambiental del agua por medio de 5 parámetros fisicoquímicos y el índice biótico BMWP-CR por medio de la clasificación taxonómica de las familias de macroinvertebrados acuáticos, según su naturaleza, sensibilidad o tolerancia a la contaminación.

Con el presente estudio se pretende determinar la calidad del agua en la microcuenca del río Marrullero ya que al reconocer los problemas de contaminación y algunas de las variables incluidas en estos índices merecen ser monitoreadas; a partir de resultados que se obtengan se pueden tomar acciones correctivas y planes de acción en relación a la mejora de la calidad del agua.

Si bien el desarrollo de los índices de contaminación ha jugado un papel muy importante en el contexto ecológico y del medio ambiente, sus debilidades constituyen un obstáculo importante para su aplicación, ya que al concentrarse en un único número la calidad de un cuerpo de agua, se produce una inmensa pérdida de información y con ello, se enmascara la condición real y los cambios que se suceden sobre un recurso hídrico. La combinación de ambas metodologías ponderará representativamente la calidad del agua al finalizar el proyecto de investigación.

1. ANTECEDENTES

Las acciones en conjunto de efectos producidos por las actividades humanas con el medio ambiente han hecho que la situación medioambiental actualmente, se encuentre en condiciones de contaminación. Por dicho motivo se han realizado desde hace varios años estudios de calidad del agua para determinar las causas y efectos de dichas acciones; se recurren a los índices de calidad de agua como el índice ISQA y el índice BMWP, los cuales describen el estado de calidad de las aguas en cualquier afluente que necesite ser analizado. Guatemala ha venido realizando este tipo de estudio en varias microcuencas, ríos, entre otros; implementando las metodologías en índices fisicoquímicos y bióticos que permiten la creación de bases de calidad ambiental en los ríos del país.

En Latinoamérica se han realizado estudios referentes a la calidad del agua en los ríos, por ejemplo, en el año 2018 Luis Gualdrón en la Universidad industrial de Santander, Colombia, se realizó el estudio de investigación *Evaluación de la calidad de agua de los ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos*. En el estudio se analizaron las características físicas, químicas y microbiológicas: coliformes totales, coliformes fecales y macroinvertebrados acuáticos, de diversos ríos de Colombia y se determinó el índice IQA de los ríos estudiados. Se encontraron altos niveles de turbiedad y los SDT sugiriendo que el agua de los ríos de Colombia no posee condiciones óptimas para el crecimiento y la reproducción de diversos organismos acuáticos. Además, se encontraron altos niveles de coliformes fecales, asociado con la existencia de vertimientos de aguas residuales, indicando que gran parte del agua de los ríos de Colombia, no es apta para consumo humano. Además el índice de BMWP/Col. correspondió a

aguas ligeramente contaminadas y el Índice IQA sugirió un recurso hídrico altamente contaminado, existiendo congruencia entre los dos índices anteriormente mencionados y algunas variables fisicoquímicas y biológicas, que presentaron valores superiores a los permisibles establecidos por la normatividad Colombiana.

En el año 2007 los investigadores Figueroa, R.; Palma, A.; Ruiz, V. y Niell, X., en la Universidad de Concepción, Chile, publicaron un artículo científico en la revista chilena de historia natural 80(2):225-242 acerca de *Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región*. Se obtuvo como resultado una buena calidad del agua por medio de los parámetros fisicoquímicos conforme a las normas chilenas; mientras que el análisis microbiológico detectó una gran cantidad de bacterias las cuales afectan la salud con el contacto directo del agua, por lo que no es recomendable para el uso y consumo humano.

En Guatemala se han realizado estudios sobre los escenarios ambientales en cuanto a las condiciones de calidad de agua en cuerpos lénticos y lóxicos. En el año 2017 Priscila Isabel Ixcotoyac Cabrera en la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó su estudio de graduación acerca de la *Evaluación de la calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, Departamento de El Quiché y propuesta para su gestión*. Con lo que determinó la categoría de las aguas de apariencia contaminada y de fuerte olor.

En el año 2016, Odalis Ivette López Salazar en la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó su estudio de graduación acerca de la *Determinación de la calidad ambiental del agua, mediante índices Bióticos y fisicoquímicos en la microcuenca del río Agua Tibia, zona 24*. Como resultado se obtuvo una mala

calidad del agua por medio del índice biótico BMWP tanto en época seca como lluviosa, mientras que el índice ISQA obtuvo una calidad regular del agua para época seca y una buena calidad del agua para época lluviosa.

En el año 2016, Ángel Oseas Ajcabul Raxhón en la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó su estudio de graduación acerca del *Análisis comparativo entre el índice simplificado de 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*. Como resultado se obtuvo La calidad del agua obtenida mediante el ISQA tuvo un aumento al pasar de época seca a época lluviosa, aunque no aumentó lo suficiente para dejar de ser de mala calidad. La calidad obtenida mediante el ICA aumentó, al pasar de época lluviosa a época seca, pero no dejando de ser clasificada como de mala calidad.

En el año 2018, Rodolfo José Martínez Hurtado en la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó su estudio de graduación acerca de *Evaluación cualitativa de la influencia estacional en la calidad del agua del río Ocotés de la ciudad de Guatemala por medio de la determinación del índice simplificado de calidad del agua (ISQA)* Al finalizar la investigación se evaluó calidad del agua aumentó al pasar de estación seca a lluviosa, aunque no lo suficiente para ser considerada buena, siendo muy mala y mala respectivamente. Como también el análisis estadístico mostró que sí hay variación entre la calidad del agua en estación seca y lluviosa, por lo que la calidad del agua se ve influenciada por las condiciones de cada estación.

En el año 2019, Glenda Yesenia Isidro Sebastian en la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó su estudio de graduación acerca de *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*

BMW. Al finalizar la investigación se evaluó que la calidad del agua por medio del índice ISQA del río Molino en la parte alta y baja es pésima para la época seca y mala en la época lluviosa. El índice biótico BMWP durante ambas épocas y en ambos puntos de muestreo la calidad del agua fue muy mala.

El índice biológico BMWP es un índice biótico de calidad del agua el cual utiliza macroinvertebrados bentónicos, que viven en los bentos o lechos de los ríos, de 110 familias taxonómicas, con diferentes resistencias a los contaminantes; la ausencia de algunos, en efecto, dará resultados de la calidad del agua.

En la Gaceta No. 178, Decreto No.33 903 MINAE-S, en Centroamérica, se han desarrollado diversas adaptaciones del método: en El Salvador IBF 20120-SV y en Costa Rica BMWP-CR; de los cuales el último, ha sido adaptado formalmente mediante el Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales.

2. MARCO TEÓRICO

El agua es un recurso vital para la existencia de vida en el planeta, es un líquido incoloro, e insípido, constituido por hidrógeno y oxígeno, además, se utiliza para el consumo, uso y abastecimiento de diversas actividades; estas actividades, a su vez, son causantes de alteración y deterioro de estos cuerpos de agua. El agua es afectada por diversos factores: químicos, biológicos y físicos, entre los que se encuentran las actividades agrícolas, los desechos domésticos e industriales.

Para determinar el nivel de contaminación y el comportamiento del agua, se evalúa y monitorea, con lo que se obtienen datos que sirvan como base para la creación de políticas, planes y programas de desarrollo social, económico y ambiental para la conservación y sostenimiento del agua, estos datos se obtienen a partir de los índices de calidad del agua que son una combinación de parámetros que califican la calidad del agua.

2.1. Calidad del agua

La calidad del agua es determinada al comparar las características físicas y químicas de la misma con base en las normas y estándares establecidos. El concepto de calidad del agua es relativo, ya que para calificar la calidad del agua se debe especificar el uso que se le dará y con ello decidir si es apta o no, pues si se habla de agua apta para el proceso industrial, puede no ser adecuada para consumo humano o para el uso en laboratorios químicos.

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.¹

2.1.1. Parámetros físicos

Son los parámetros del agua que responden al sentido del tacto, sabor y olfato. Los más utilizados son:

- Olor y sabor: son dos parámetros relacionados entre sí. Las fuentes del sabor y olor son los minerales, metales, sales del suelo, productos finales de reacciones biológicas y aguas residuales domésticas e industriales.
- Color: se supone que el agua pura es incolora, sin embargo, los sólidos suspendidos, color aparente, y los sólidos disueltos, color determinante, determinan el color del agua.
- Temperatura: es un parámetro muy importante para la vida, ya que la biota está directamente relacionada con la temperatura del agua.
- Turbidez: mide el grado en que la luz es reflejada o absorbida por el material suspendido, que puede considerarse como una medida del efecto de los sólidos suspendidos en el cuerpo de agua.
- Sólidos suspendidos: se refiere a las partículas orgánicas e inorgánicas, así como líquidos inmiscibles que se encuentran en el agua. La cual afecta

¹ AJCABUL, Angel. *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.

el crecimiento de la vegetación acuática debido a la turbidez que se origina y dificulta el paso de la luz.

2.1.2. Parámetros químicos

Por razones didácticas los parámetros químicos del agua se dividen en dos clases²:

- Indicadores: pH, acidez, alcalinidad
- Sustancias químicas: grasas, detergentes, hierro, manganeso

Por lo que se necesita la ayuda de un laboratorio para la realización de pruebas específicas con lo que se determinarán los parámetros químicos. Entre los que están:

2.1.2.1. Indicadores

- Sólidos disueltos: son los materiales que permanecen en el agua luego de ser filtrada.
- Alcalinidad: es una medida de la cantidad de iones presentes en el agua, los cuales reaccionan para neutralizar los iones de hidrógeno.
- Dureza: representa la concentración de cationes metálicos multivalentes en la solución. En condiciones de saturación, los cationes reaccionan con los aniones del agua para formar sólidos.

² SIERRA RAMIREZ, Carlos Alberto. *Calidad del Agua, Evaluación y Diagnostico*. p. 93.

- Conductividad: es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y sulfatos.

2.1.2.2. Sustancias químicas

- Metales: son elementos que se encuentran en el agua, los cuales se clasifican, según su efecto sobre el ser humano, en tóxicos y no tóxicos.
- Sustancias orgánicas: se clasifican según la degradación, biodegradables o no biodegradables. El parámetro más importante es el DQO.
- Nutrientes: los dos nutrientes más importantes en la calidad del agua son el nitrógeno y el fósforo. El nitrógeno en exceso produce la eutrofización el crecimiento de algas y plantas verdes. El fósforo también afecta a la eutrofización y se encuentra presente en el agua como fosfatos.

2.1.3. Parámetros biológicos

Todos los seres vivos que viven en agua son, de alguna manera, indicadores de calidad del agua, ya sea por su presencia o ausencia. Se han desarrollado índices biológicos en donde la presencia de cierta biota o especies determinan la calidad del agua. Tradicionalmente se utilizan indicadores patógenos los 13 cuales causan enfermedades o las transmiten. Muchos de estos organismos provienen de las heces fecales.

2.2. Contaminación del agua

La contaminación del agua afecta directamente a su composición y características, también es afectada por factores biológicos, químicos y físicos. Estos factores se dan en su mayoría debido a que los ríos y aguas superficiales han sido utilizados para recibir todo tipo de residuos domésticos, industriales, actividades agrícolas y ganaderas.

Durante su ciclo natural el agua, por diferentes razones, puede llegar en contacto con numerosas sustancias químicas. Estas sustancias químicas se consideran tóxicas cuando a una determinada concentración y tiempo de exposición producen efectos adversos a la especie humana o la biota acuática (ecosistema). Esto significa que la mera presencia de un químico en el agua no implica la presencia de toxicidad.³

2.2.1. Origen de la contaminación del agua

“La contaminación del agua procede de dos formas natural o de forma antropogénica (actividad del hombre), siendo esta la que más preocupa”.⁴ La industrialización y el desarrollo utilizan más agua y genera más desechos en donde la mayoría son vertidos a ríos y aguas superficiales, lo que causa su contaminación.

2.2.2. Contaminación de origen natural

Es causada por las fases del ciclo del agua, las actividades geofísicas y el equilibrio dinámico con la tierra.

³ SIERRA RAMIREZ, Carlos Alberto. *Calidad del Agua, Evaluación y Diagnostico*. p.25.

⁴ 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.140.

2.2.3. Contaminación de origen antropogénica

La actividad humana genera sustancias ajenas a la composición natural del agua. “El origen de la contaminación antropogénica está ligada a estas cuatro actividades del hombre”.⁵

- Urbanas: la contaminación debido a las actividades urbanas es consecuencia de la inadecuada eliminación y ubicación de residuos, junto a las aguas residuales provenientes del uso doméstico: limpieza, cocina y sanitarios.
- Agrícolas: la contaminación del agua por la actividad agrícola es debida a la utilización de fertilizantes y exceso de biocidas, así como la presencia de otros residuos agrícolas.
- Ganaderas: la contaminación de aguas por explotaciones ganaderas es debida a compuestos orgánicos y biológicos procedentes de residuos de instalaciones ganaderas y purines de animales estabulados.
- Industriales: la contaminación más diversa y compleja. En muchos casos la más difícil de eliminar. algunos de los residuos más peligrosos, los metales tóxicos, suelen ser generados en ambientes industriales. Los escapes de gases y polvo en la atmósfera por parte del sector industrial empeoran el calentamiento global, y la industria es responsable de buena parte de la contaminación del aire y del agua.

⁵ SIBER, Ventilación Inteligente. *¿Qué son los contaminantes antropogénicos?* <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/contaminantes-antropogenicos/>. Consulta: 22 de marzo de 2017.

El agua es un elemento fundamental en las actividades industriales, utilizado como vehículo energético, disolvente, en operaciones de lavado, base para reacciones, intercambiadores de calor, entre otros usos. Fundamentalmente como materia prima; al mismo tiempo es, quizás, la actividad más contaminante de las aguas. Los vertidos industriales que se caracterizan por:

- Aceites y grasas
- Elementos tóxicos disueltos
- pH generalmente ácido
- Temperaturas superiores a la del receptor
- Materia orgánica disuelta o en suspensión
- Materia en suspensión

2.2.4. Sustancias que contaminan el agua

“Hay una gran cantidad de sustancias que contaminan el agua, por lo que es difícil conocer todos tan detalladamente; para facilitar la clasificación se divide en siete grupos”.⁶ Los cuales son:

- Agentes patógenos: es el grupo biológico: bacterias, virus, parásitos u otro organismo, que pueda causar daño al ser humano, animal o vegetal. Para el agua, es proveniente de los desechos orgánicos en ríos, lagos y aguas superficiales.

⁶ Soluciones Medioambientales y Aguas, S.A. *Sustancias contaminantes y sus efectos en la calidad del agua*. <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/sustancias-contaminantes-y-susefectos-en-la-calidad-del-agua>. Consulta: marzo de 2017.

- Compuestos químicos orgánicos: son las sustancias químicas que contienen carbono y han sido fabricadas por el hombre, como los derivados del petróleo, envases plásticos, entre otros.
- Desechos orgánicos: son el conjunto de residuos orgánicos: aceites, grasas, proteínas, entre otros, producidos por seres humanos o animales. Incluyen los desechos de comida y las heces fecales. Cuando este tipo de desecho se encuentra en el agua en altas cantidades, generan proliferación de bacterias y esto hace que su degradación sea mayor y por lo tanto, consuman más oxígeno del debido, lo que puede provocar la muerte de varias especies.
- Sustancias químicas inorgánicas: se trata de ácidos, bases y metales tóxicos, grandes cantidades en el agua puede destruir el ecosistema acuático, reduciendo la biodiversidad. Proviene de los vertidos agrícolas, domésticos e industriales, que pueden contener múltiples compuestos químicos.
- Nutrientes vegetales inorgánicos como el nitrógeno y el fósforo: el exceso de estos nutrientes puede causar el aumento de las plantas acuáticas, lo que provoca la disminución de oxígeno para el ecosistema acuático.
- Sustancias radioactivas: isótopos radioactivos solubles que pueden estar presentes en el agua, derivados de la energía nuclear y de la actividad de centrales termonucleares, y que son perjudiciales para la salud del hombre y de los seres vivos.

- 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.

2.3. 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 el estudio del ecosistema, con el fin de descubrir los daños causados al río y establecer el tratamiento necesario para restaurarlo.⁷

Al realizar cualquier estudio, es necesario obtener varios datos en diferentes puntos del mismo río, para conocer y comparar la calidad del agua río arriba y río abajo.

Actualmente, existen dos tipos de monitoreo de calidad del agua:

- Monitoreo por bioindicación: para este tipo de análisis se utilizan bioindicadores, que son organismos puntuales y selectos de estrés ambiental que pueden evaluar y 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 el laboratorio, donde se evalúan los diversos parámetros.

⁷ 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.* p.163.

2.4. Índices de calidad del agua

Los índices de calidad del agua es la unificación de los parámetros más representativos de la contaminación del agua; además, son herramientas que permite asignar un valor de calidad, la valoración de la calidad del agua puede ser entendida como la valoración de las características físicas, químicas y biológicas del agua en función de su calidad en estado natural o para un uso específico.⁸

Características de los índices:

- Simplifican y resumen datos complejos.
- Se componen de una expresión numérica, por lo que pueden incluirse en modelos para la toma de decisiones.
- Son fáciles de comprender para el público y los usuarios.
- Deben ser tomados con precaución y actualizados periódicamente.

Existen diferentes índices de calidad del agua, entre los más conocidos están los índices biológicos como el Saprobic y BMWP y los índices fisicoquímicos como el índice ICA y el índice ISQA. Para el presente estudio se utilizan los índices de calidad del agua ISQA y BMWP.

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.* p.163.

2.5. Índice ISQA

“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

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.¹⁰

Los parámetros estudiados por este índice son:

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

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 BMW.* p.82.

¹⁰ ROS 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.

- Temperatura: es un parámetro físico que indica el rango de vida de ciertas especies acuáticas.

2.5.1. Interpretación del índice ISQA

La calidad del agua en el índice ISQA tiene una escala que va desde 0 que representa la mala calidad hasta 100 que representa buena calidad. Con las características descritas.

Tabla I. **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.

2.6. Índice biótico BMWP

En 1970 se estableció en Inglaterra el índice BMWP, creado por Armitage,

El índice se basa en un método simple de puntaje para todos los grupos de macroinvertebrados acuáticos identificados en un punto específico, hasta nivel de familia lo cual representa un ahorro de trabajo taxonómico y la posibilidad de ser utilizado por personal sin dicha experiencia. Además, se requiere solo de datos cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va desde 1 (familias muy tolerantes) hasta 10 (familias intolerantes) de acuerdo con su tolerancia a la contaminación orgánica.¹¹

Los macroinvertebrados acuáticos bentónicos se definen como “pequeños animales que pueden observarse a simple vista y tienen tamaños entre 2 milímetros y 30 centímetros. No poseen huesos, solamente oxoesqueletos y viven en los fondos de los cuerpos de agua (bentos).”¹²

El puntaje se asigna una solo vez por familia, independientemente de la cantidad de individuos o géneros encontrados; de esta manera, las familias encontradas son sumadas y la suma de los puntajes de todas estas familias encontradas en cada punto de muestreo es la que brinda el valor final del índice. En la siguiente tabla se muestran las familias de macroinvertebrados bentónicos para este índice, junto a su respectiva puntuación.

¹¹ ACUÑA CAMPOS, Esteban Stuardo. *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos.* p.113.

¹² 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 BMW.* p.82.

Tabla II. Lista de macroinvertebrados para el índice BMWP-CR

Puntuación	Orden	Familia
9	<i>Odonata</i>	<i>Polythoridae</i>
	<i>Diptera</i>	<i>Blephariceridae; Athericidae</i>
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Heptageniidae</i>
	<i>Plecoptera</i>	<i>Perlidae</i>
	<i>Trichoptera</i>	<i>Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae</i>
8	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Leptophlebiidae</i>
	<i>Odonata</i>	<i>Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae</i>
	<i>Trichoptera</i>	<i>Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae</i>
	<i>Blattodea</i>	<i>Blaberidae</i>
7	<i>Coleoptera</i>	<i>Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae</i>
	<i>Odonata</i>	<i>Gomphidae; Lestidae; Platystictidae; Megapodagrionidae; Protoneuridae</i>
	<i>Trichoptera</i>	<i>Philopotamidae</i>
	<i>Crustacea</i>	<i>Talitridae; Gammaridae</i>
6	<i>Odonata</i>	<i>Libellulidae</i>
	<i>Megaloptera</i>	<i>Corydalidae</i>
	<i>Trichoptera</i>	<i>Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae</i>
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Euthyplociidae; Eponychia</i>
5	<i>Lepidoptera</i>	<i>Pyalidae</i>
	<i>Trichoptera</i>	<i>Hydropsychidae; Helicopsychidae</i>
	<i>Coleoptera</i>	<i>Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae</i>
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Leptohyphidae; Oligoneuriidae; Polymitarcyidae; Baetidae</i>
	<i>Crustacea</i>	<i>Crustacea</i>
	<i>Tricladida</i>	<i>Turbellaria</i>

Continuación de tabla II.

4	<i>Coleoptera</i>	<i>Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae</i>
	<i>Diptera</i>	<i>Dixidae; Simuliidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Empididae; Muscidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae</i>
	<i>Hemiptera</i>	<i>Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae</i>
	<i>Odonata</i>	<i>Calopterygidae; Coenagrionidae</i>
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Caenidae</i>
	<i>Hidracarina</i>	<i>Hidracarina</i>
3	<i>Coleoptera</i>	<i>Hydrophilidae</i>
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>
	<i>Mollusca</i>	<i>Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae; Bythinellidae; Sphaeridae</i>
	<i>Annelida</i>	<i>Hirudinea: Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae</i>
	<i>Crustacea</i>	<i>Asellidae</i>
2	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae</i>
1	<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>
	<i>Annelida</i>	<i>Oligochatea (todas las clases)</i>

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. 09 marzo del 2007. p. 16.*

Según la suma de la puntuación de todas las familias se obtiene un valor de índice de BMWP-CR el cual se clasifica según el nivel mostrado en la siguiente tabla. El valor de índice de BMWP no sobrepasa de 200.

Tabla III. **Clasificación de calidad del agua según índice 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. 09 marzo del 2007. p. 18.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A continuación, se describen en una tabla las variables.

Tabla IV. **Variables en el monitoreo**

	Variable	Unidad	Independiente	Dependiente	Monitoreable	Respuestas
índice ISQA	Temperatura	°C	x		x	
	DQO	mg/l	x		x	
	SST	mg/l	x		x	
	OD	mg/l	x		x	
	CE	μS/cm	x		x	
	Valor ISQA	NA			x	x
índice BMWP	Variedad taxonómica	NA	x		x	
	Puntuación de macroinvertebrados	NA	x		x	
	Número BMWP	NA		x	x	x
	Calidad del Agua	NA		x	x	x

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Todas las variables establecidas en la tabla anterior, son susceptibles de monitoreo a los siguientes puntos:

- Puntos de muestreo
 - Parte media: zona 6
 - Parte baja: zona 2

- Épocas del año
 - Época seca
 - Época lluviosa

3.2. Delimitación de campo de estudio

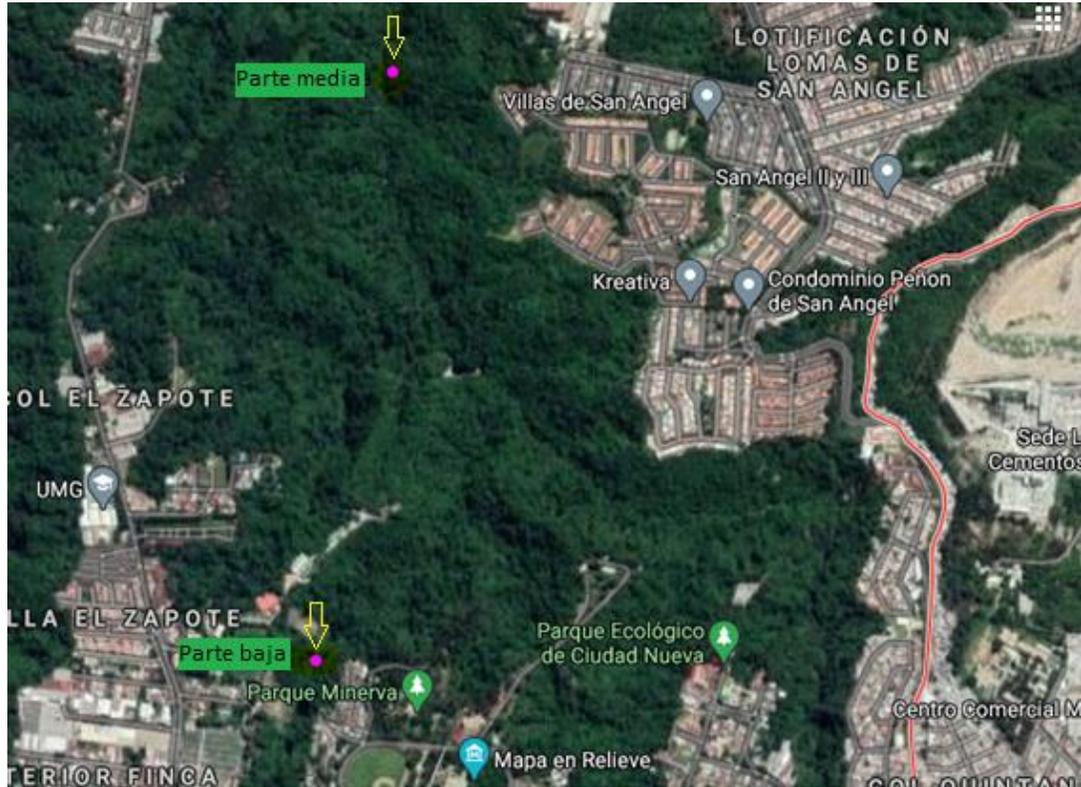
El estudio presente abarca el monitoreo y análisis de la calidad del agua mediante el índice ISQA y el índice biológico BMWP de la microcuenca del río Marrullero, ubicada dentro del municipio de Guatemala, en las zonas 2 y 6.

Se tendrá dos puntos de muestreo, debidamente identificados y representativos de la parte media y baja de la microcuenca:

- Parte media: zona 6
- Parte baja: zona 2

Los muestreos se realizarán tanto en la época seca y época lluviosa del año 2017, para el análisis de los efectos de las condiciones climáticas en ambas épocas.

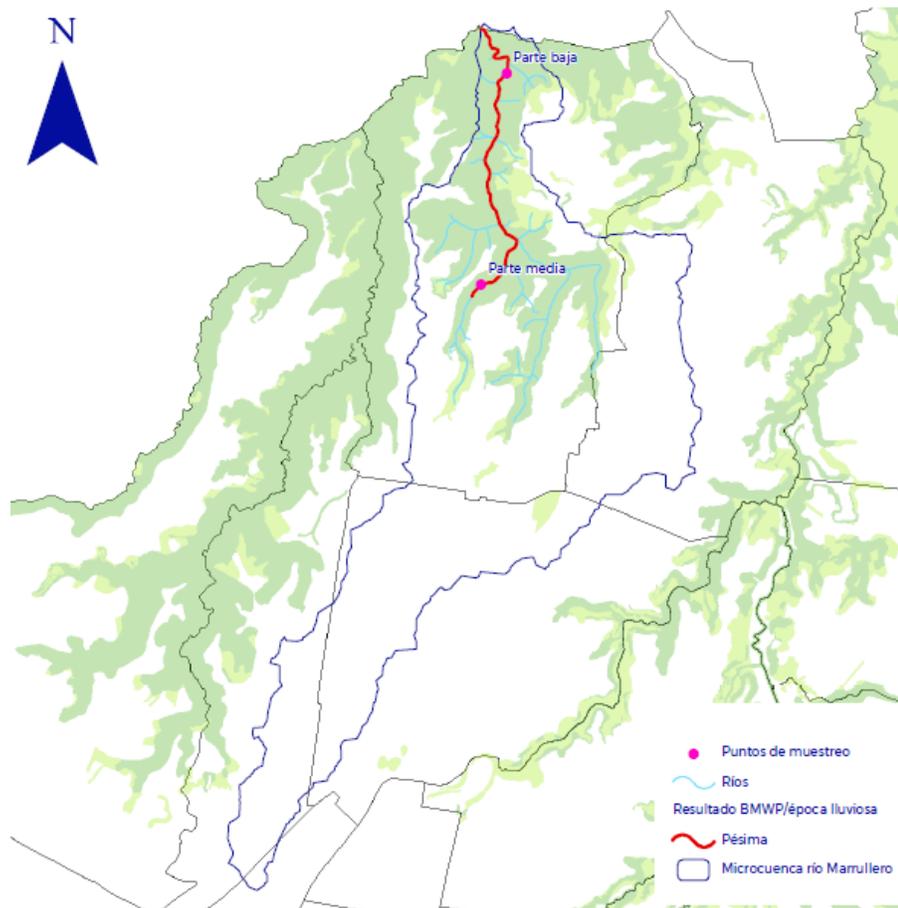
Figura 1. **Ubicación satelital de los puntos de muestreo, microcuenca del río Marrullero**



Fuente: Google Earth. *Microcuencas*.

<https://www.google.com/maps/search/rio+marrullero+zona+2/@14.6675652,-90.5149093,1880m/data=!3m1!1e3?hl=es> Consulta: marzo de 2017

Figura 2. **Ubicación de los puntos de muestreo, microcuenca del río Marrullero**



Fuente: elaboración propia, empleando ArcGis.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigadora: Br. Arlene Jocabed Coloma Leiva.
- Asesor de investigación: Ingeniero químico Jorge Mario Estrada Asturias.
- Asesor Técnico-Administrativo de la Dirección del Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala: Jhonatan Sican.

- Guía local: promotores alcaldía auxiliar zona 2.

3.4. Recursos materiales disponibles

Seguidamente, se presentan los recursos materiales con los que se contó para realizar el estudio.

3.4.1. Equipo de protección personal

- Botas de hule
- Guantes de látex
- Mascarilla
- Botiquín
- Gafas protectoras

3.4.2. Equipo para recolección de muestras

- Red de muestreo tipo D cedazo de 1 mm
- Dispositivo GPS marca Garmin Etrex
- Cámara digital
- Frascos pequeños
- Botes de plástico con tapón hermético
- Hoja de toma de datos
- Multiparamétrico
- Pinzas
- Hielera

3.4.3. Cristalería y equipo para análisis de laboratorio

- Filtros para análisis de sólidos en suspensión, 45 mm
- Medidor de oxígeno disuelto marca Hach
- Conductímetro marca Hach
- Bomba de vacío
- Horno de secado
- Balanza analítica
- Pipeta
- Probeta
- Termómetro
- Kitasato
- Manguera
- Espectrofotómetro
- Termoreactor
- Caja de Petri
- Estereoscopio
- Tubos de ensayo

3.4.4. Reactivos

- Reactivos de DQO
- Alcohol etílico al 70 %
- Glicerina
- Agua destilada

3.5. Técnica de estudio

Seguidamente, se describen las técnicas de estudio que se realizaron para la investigación.

3.5.1. Índice simplificado de calidad del agua ISQA

El estudio será de carácter cuantitativo, debido a que se medirá parámetros físicos y químicos del agua, que darán como resultado cifras contables para la obtención de índices de calidad.

3.5.2. Índice biótico BMWP

El estudio también posee un carácter cualitativo debido a que se interpretará la calidad del agua, tomando como referencia individuos bióticos del agua que se determinaran por las características físicas de los mismos.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Las muestras de agua superficial y macroinvertebrados fueron recolectadas del río Marrullero en jurisdicción de la Ciudad Capital. Se seleccionó un sector de fácil acceso y representativo de la parte media y baja del río Marrullero, zona 2, parte baja, y zona 6, parte media. El procedimiento para el muestreo y análisis para la obtención de la información, se describe a continuación para los índices ISQA como para el BMWP.

3.6.1. Índice simplificado de calidad del agua ISQA

Se explica a detalle el procedimiento que se lleva a cabo para la toma de muestras de agua del río Marrullero en los dos puntos de muestreo.

3.6.1.1. Procedimiento de muestreo

- Colocar equipo de protección personal y preparar recipientes para la toma de muestras. Estos deben estar debidamente esterilizados y libres de contaminantes.
- Seleccionar un tramo del río no superior a 50 m de largo. Este tramo debe ser representativo a la generalidad del río.
- Iniciar el muestreo, sumergir el recipiente a una profundidad entre 15 a 25 cm y tomar la muestra a contracorriente.
- Sellar cuidadosamente el recipiente para evitar derrames y alteraciones.
- Etiquetar e identificar las muestras.
- Medir parámetros in situ con la ayuda del multiparamétrico; temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto.
- Colocar las muestras en una hielera o recipiente a temperatura entre 4 a 10 °C para su traslado al laboratorio.

3.6.1.1.1. Análisis de muestras

Las muestras serán trasladadas al Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, donde se realizarán las pruebas para determinar sólidos suspendidos y demanda química de oxígeno involucrados en el cálculo del índice ISQA.

3.6.2. Índice biótico BMWP

Seguidamente se detalla el procedimiento de recolección de muestras de macroinvertebrados en los dos puntos de muestreo del río Marrullero.

3.6.2.1. Procedimiento de muestreo

- Colocar equipo de protección personal y preparar recipientes para la toma de muestras. Estos deben estar debidamente esterilizados y libres de contaminantes.
- Seleccionar un tramo del río no superior a 50 m de largo. Este tramo debe ser representativo a la generalidad del río.
- Identificar si es posible muestrear en las tres áreas de interés, ambas orillas del río y si la corriente no es demasiado fuerte, muestrear en el medio.
- Iniciar el muestreo, colocar la red D en posición vertical tomándola por la parte más alta del mango y colocarla a contra corriente en contacto con el fondo de la superficie del río.

- Después de 8 minutos de muestreo, inspeccionar cuidadosamente la red D. con la ayuda de una pinza, atrapar e introducir en el recipiente para muestras biológicas con alcohol al 70 % y glicerina, los organismos para su conservación y posteriormente su análisis.
- Limpiar adecuadamente la red D con agua limpia, antes de continuar con la toma de la segunda submuestra.
- Al finalizar el muestreo, lavar la red con suficiente agua limpia y revisarla para evitar el traslape de organismos entre puntos de muestreo.
- Colocar las muestras en una hielera o recipiente estable para su traslado al laboratorio.

3.6.2.1.1. Análisis de muestras de macroinvertebrados

- Examinar el material recolectado en las bolsas plásticas con la ayuda de un estereoscopio, para la búsqueda de organismos.
- Con la ayuda de una cuchara, de preferencia plástica, tomar parte del material recolectado y esparcirlo en una bandeja plástica de color blanco, para poder visualizar los organismos.
- Colocar el organismo en el estereoscopio para ser observado e identificarlo.
- Ayudarse de claves y guías taxonómicas para la identificación de organismos.

- Colocar los organismos en un recipiente con la porción de alcohol y glicerina, para su conservación. Dicho recipiente debe ser identificado según la fecha de muestreo, punto de muestreo, identificación de familia y tipo de muestreo, red D.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Seguidamente se presentan los formatos para registrar los datos experimentales obtenidos tanto para la determinación del ISQA así como para el índice BMWP, también el modelo y metodología para obtenerlos.

Tabla V. **Ubicación de los puntos de muestreo**

Punto de muestreo	Ubicación	Coordenadas
Parte media	zona 6	14°40'56"N, 90°30'29"O
Parte baja	zona 2	14°39'53,245"N, 90°30'33,4063"W

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.7.1. Tabulación y ordenamiento de la información

Seguidamente se presentan los modelos de tablas para registrar los datos experimentales obtenidos tanto para la determinación del ISQA así como para el índice BMWP.

3.7.1.1. Índice simplificado de calidad del agua, ISQA

En las páginas 37 y 38 se presentan los modelos de tablas para registrar los cinco parámetros fisicoquímicos involucrados en la determinación del ISQA, para las cinco semanas de muestreo correspondientes a la época seca y las cinco semanas a la época lluviosa; tanto para la parte media como la parte baja del río Marrullero.

3.7.1.2. Índice biótico BMWP

En la página 39 a la 42 se presentan los modelos de tablas para registrar las especies de macroinvertebrados acuáticos recolectados durante el muestreo en las cinco semanas correspondientes a la época seca y las cinco semanas de época lluviosa; tanto para la parte media como la parte baja del río Marrullero.

3.7.2. Procesamiento de la información

Seguidamente se explica a detalle el modelo y la metodología aplicados para la determinación de los índices ISQA y BMWP.

3.7.2.1. Modelo para la determinación del índice simplificado de la calidad del agua

Luego del procesamiento y análisis de las muestras, se procede al cálculo del índice ISQA, el cual se determina de la siguiente manera:

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

Donde:

- T: temperatura del agua expresada 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=DQO-Mn, expresada en mg/l. puede tomar valores comprendidos entre 0 y 30 según:
 - $A = 30 - a$ si $a \leq 10$ mg/l
 - $A = 21 - (0,35 \cdot a)$ 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:
 - $B = 25 - (0,15 \cdot \text{SST})$ si $\text{SST} \leq 100$ mg/l
 - $B = 17 - (0,07 \cdot \text{SST})$ si $250 \text{ mg/l} \geq \text{SST} > 100$ mg/l
 - $B = 0$ si $\text{SST} > 250$ mg/l

- C: oxígeno disuelto en O₂ en mg/l. Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:
 - $C = 2,5 \cdot \text{O}_2$ si $\text{O}_2 < 10$ mg/l
 - $C = 25$ si $\text{O}_2 \geq 10$ mg/l

- D: conductividad, CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 18 °C. Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 20 según:
 - $D = (3,6 - \log CE) \cdot 15,4$ si $CE \leq 4\,000 \mu\text{S}/\text{cm}$
 - $D = 0$ si $CE > 4\,000 \mu\text{S}/\text{cm}$

3.7.2.2. Método para la determinación del BMWP

- Los macroinvertebrados se identifican por especie y familia con la ayuda de una guía taxonómica.
- Luego de identificar los tipos de macroinvertebrados, se le dará la puntuación según la tabla II.
- Se realizará un promedio entre los cinco datos de época lluviosa, los cinco datos de época seca y se determinará el índice BMWP.
- Se determinará la calidad del agua de la microcuenca del río Marrullero para época lluviosa y época seca en base al índice BMWP obtenido.

3.8. Análisis estadístico

Seguidamente se describen las herramientas estadísticas utilizadas para el análisis de datos y resultados obtenidos.

3.8.1. Coeficiente de correlación de *Spearman*

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

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

Donde:

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

n: Tamaño de la muestra, 5 muestreos

Criterio: los valores van de 0 a 1, y el signo significa 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 de un conjunto de números

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

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

En donde:

X : media aritmética

Xi : dato correspondiente a una medición

N : número total de datos

4. RESULTADOS

4.1. Índice simplificado de la calidad del agua ISQA

Seguidamente se muestran las tablas, las cuales resumen datos calculados del índice ISQA.

Tabla VI. Índice ISQA, parte media zona 6, época seca y época lluviosa

Época	Muestreo	Fecha	T	A	B	C	D	ISQA
seca	1	06/03/2017	1,00	0,00	24,70	10,46	16,91	52,07
	2	13/03/2017	0,99	0,00	20,65	15,45	15,03	51,07
	3	20/03/2017	1,00	1,75	20,39	3,65	15,17	40,96
	4	03/04/2017	0,97	1,75	20,39	6,94	15,80	43,60
	5	18/04/2017	0,99	0,00	0,00	2,96	10,11	12,98
Mala								40,14
	Muestreo	Fecha	T	A	B	C	D	ISQA
lluviosa	1	05/09/2017	0,99	8,40	23,74	20,60	14,49	66,85
	2	12/09/2017	0,99	11,90	23,65	3,61	14,78	53,45
	3	19/09/2017	0,99	7,00	23,71	9,31	16,36	55,86
	4	26/09/2017	1,00	8,75	23,65	25,00	13,22	70,62
	5	03/10/2017	0,99	5,95	23,95	25,00	14,00	68,57
Regular								63,07

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla VII. Índice ISQA, parte baja zona 2, época seca y época lluviosa

Época	Muestreo	Fecha	T	A	B	C	D	ISQA
Seca	1	06/03/2017	1,00	1,05	24,85	3,55	15,55	45,01
	2	13/03/2017	1,00	0,00	20,12	9,65	15,38	44,97
	3	20/03/2017	1,00	0,00	4,68	2,43	14,48	21,59
	4	03/04/2017	0,98	0,00	4,68	5,28	14,67	24,25
	5	18/04/2017	1,00	0,00	0,00	2,09	12,51	52,43
	Mala							
	Muestreo	Fecha	T	A	B	C	D	ISQA
Lluviosa	1	05/09/2017	0,99	8,05	23,95	1,48	13,43	46,67
	2	12/09/2017	1,00	11,20	23,65	3,53	15,40	53,78
	3	19/09/2017	0,99	12,60	23,62	8,49	16,70	61,32
	4	26/09/2017	1,00	8,40	22,15	25,00	16,30	71,85
	5	03/10/2017	1,00	6,65	23,35	25,00	15,79	70,79
	Regular							

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.2. Índice biótico de macroinvertebrados BMWP

Seguidamente se muestran las tablas que resumen los datos calculados de índice biótico de macroinvertebrados BMWP.

Tabla VIII. Índice biótico BMWP, parte media zona 6, época seca

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	3
	<i>Diptera</i>	<i>Culicidae</i>	2
	Total		7
2	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Annelida</i>	<i>Oligochaeta</i>	1
	Total		3
3	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	3
	<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	1
	<i>Annelida</i>	<i>Oligochaeta</i>	1
	Total		7
4	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	3
	<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	1
	Total		6
5	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	3
	<i>Diptera</i>	<i>Culicidae</i>	2
	<i>Annelida</i>	<i>Oligochaeta</i>	1
	Total		8
Muy crítica			6,2

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla IX. Índice biótico BMWP, parte baja zona 2, época seca

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	3
	<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	1
	Total		6
2	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	1
	Total		3
3	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	3
	<i>Diptera</i>	<i>Muscidae</i>	4
	<i>Annelida</i>	<i>Oligochaeta</i>	1
	Total		10
4	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	3
	<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	1
	Total		6
5	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	3
	<i>Diptera</i>	<i>Muscidae</i>	4
	Total		9
Muy crítica			6,8

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla X. Índice biótico BMWP, parte media zona 6, época lluviosa

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	3
	<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	1
	Total		6
2	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	3
	<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	1
	Total		6
3	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	3
	<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	1
	<i>Coleoptera</i>	<i>Hydroscaphidae</i>	3
	Total		9
4	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	3
	<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	1
	<i>Coleoptera</i>	<i>Hydroscaphidae</i>	3
	Total		9
5	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	3
	<i>Diptera</i>	<i>Muscidae</i>	4
	Total		9
Muy crítica			7,8

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XI. **Índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte baja zona 2, época lluviosa**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	1
	Total		3
2	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	1
	<i>Coleoptera</i>	<i>Hydroscaphidae</i>	3
	Total		6
3	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	3
	Total		5
4	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	3
	<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	1
	Total		6
5	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>	3
	Total		5
Muy crítica			5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XII. **Índice de calidad del agua por época de muestreo y en general**

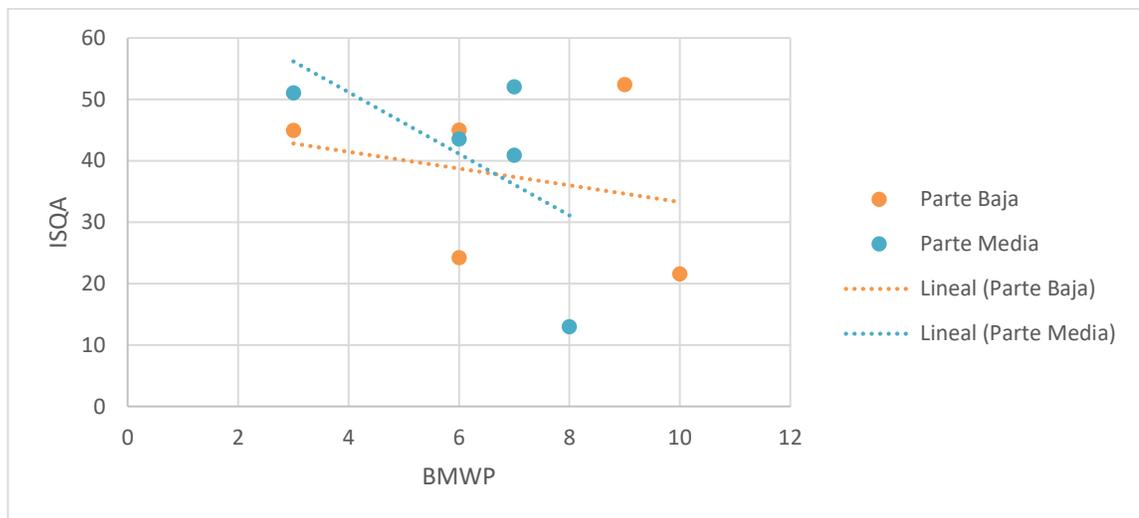
Época de muestreo	ISQA	BMWP
Seca	38,89	6,50
Lluviosa	61,97	6,40
General	50,43	6,45

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.3. Análisis de correlación entre los índices ISQA y BMWP

Seguidamente se muestra la correlación entre los índices ISQA y BMWP.

Figura 3. **Correlación entre los índices ISQA y BMWP, parte media y parte baja, correspondiente a la época seca**



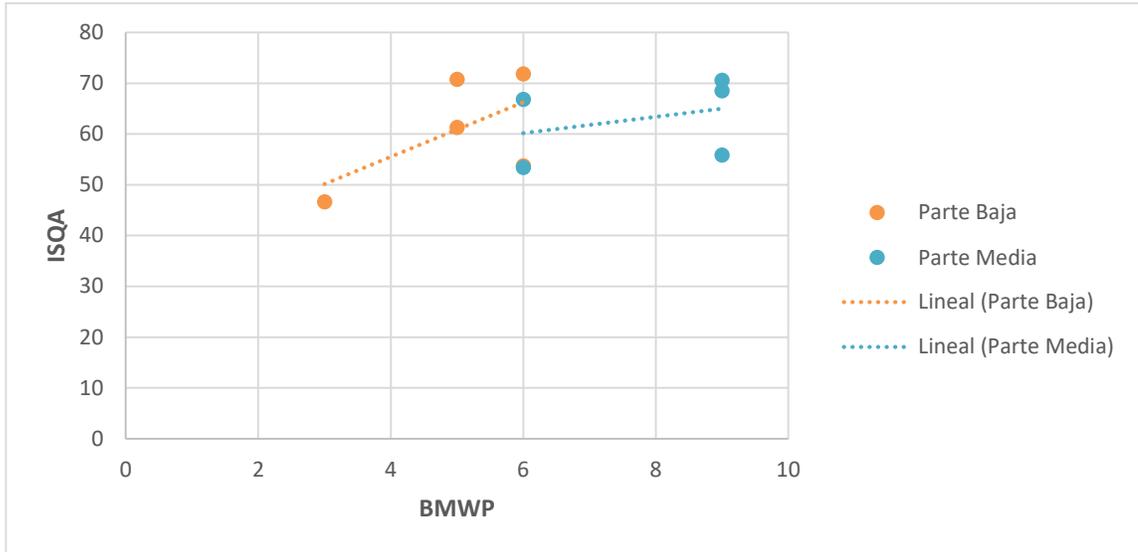
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XIII. **Análisis de correlación por rangos de Spearman entre los el índices ISQA y BMWP, parte media y parte baja, correspondiente a la época seca**

PUNTO	BMWP	ISQA	RANGO A	RANGO B	di	di ²	
Parte Media	7,00	52,07	3,50	5,00	- 1,50	2,25	
	3,00	51,07	1,00	4,00	- 3,00	9,00	
	7,00	40,96	3,50	2,00	1,50	2,25	
	6,00	43,60	2,00	3,00	- 1,00	1,00	
	8,00	12,98	5,00	1,00	4,00	16,00	
	Sumatoria						30,50
	rs						- 0,53
Parte Baja	BMWP	ISQA	RANGO A	RANGO B	di	di ²	
	6,00	45,01	2,50	4,00	- 1,50	2,25	
	3,00	44,97	1,00	3,00	- 2,00	4,00	
	10,00	21,59	5,00	1,00	4,00	16,00	
	6,00	24,25	2,50	2,00	0,50	0,25	
	9,00	52,43	4,00	5,00	- 1,00	1,00	
	Sumatoria						23,50
	rs						- 0,18

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 4. **Correlación entre los índices ISQA y BMWP, parte media y parte baja, correspondiente a la época lluviosa**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XIV. **Análisis de correlación por rangos de Spearman entre los índices ISQA y BMWP, parte media y parte baja, correspondiente a la época lluviosa**

PUNTO	BMWP	ISQA	RANGO A	RANGO B	d_i	d_i^2	
Parte Media	6,00	66,85	1,50	3,00	- 1,50	2,25	
	6,00	53,45	1,50	1,00	0,50	0,25	
	9,00	55,86	4,00	2,00	2,00	4,00	
	9,00	70,62	4,00	5,00	- 1,00	1,00	
	9,00	68,57	4,00	4,00	0,00	0,00	
	Sumatoria						7,50
	r_s						0,63
Parte Baja	BMWP	ISQA	RANGO A	RANGO B	d_i	d_i^2	
	3,00	46,67	1,00	1,00	0,00	0,00	
	6,00	53,78	4,50	2,00	2,50	6,25	
	5,00	61,32	2,50	3,00	- 0,50	0,25	
	6,00	71,85	4,50	5,00	- 0,50	0,25	
	5,00	70,79	2,50	4,00	- 1,50	2,25	
	Sumatoria						9,00
	r_s						0,55

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En los dos puntos de muestreo representativos de la parte media y la parte baja del río Marrullero en su paso por la ciudad Capital de Guatemala. Se llevaron a cabo 5 muestreos tanto en la época seca, de noviembre a abril, como en la época lluviosa de mayo a octubre. Se recolectaron diversas especies de macroinvertebrados, que luego de ser caracterizadas permitieron determinar el índice biótico BMWP y mediante la medición de temperatura, conductividad eléctrica, sólidos en suspensión, demanda química de oxígeno y oxígeno disuelto se determinó el índice ISQA.

La tabla VI muestra los resultados obtenidos del índice ISQA, para el punto de muestreo correspondiente a la parte media del río Marrullero ubicado dentro de la finca que le pertenece a la Empresa SECOMSA en la zona 6. Se determinó que en época seca la calidad del agua es mala con un ISQA de 40,14, en tanto, en época lluviosa la calidad del agua en este punto es regular con un ISQA de 63,07; El agua posee un ligero color, mal olor, espumas y ligera turbidez no natural.

En la tabla VII están los resultados obtenidos del índice ISQA, para el punto de muestreo correspondiente a la parte baja del río Marrullero ubicado en la zona 2 al descender por el sendero boscoso del parque Minerva, en época seca y en época lluviosa. Se determinó que en época seca la calidad del agua es mala con un ISQA de 37,65, en tanto, en época lluviosa la calidad del agua en este punto es regular con un ISQA de 60,88; El agua posee un ligero color, mal olor, espumas, desechos sólidos y ligera turbidez no natural.

La temperatura promedio durante la época seca en el punto de muestreo medio fue de 19,36 °C; durante la época lluviosa las temperaturas aumentaron, paulatinamente con un valor de 20,46 °C. Para el punto de muestreo en la parte baja en la época seca presentó un valor de 18,98 °C y durante la época lluviosa aumento en 19,87 °C. El aumento de temperatura en la época lluviosa respecto a la época seca, es un factor que tiene influencia significativa en el resto de parámetros fisicoquímicos involucrados en la determinación del ISQA.

La demanda química de oxígeno relacionada con el parámetro A influye en gran manera en el valor del ISQA. En la época seca en el punto bajo y medio de muestreo, posee valores de A igual a 0, debido a la presencia de grandes cantidades de materia orgánica en dichos puntos, lo que representa un grado de contaminación elevado y se reflejó en los valores en la parte media el valor de DQO es 151,8 mg/l y 36 mg/l para las respectivas épocas. Por lo contrario, para parte baja se tienen valores de DQO 238,6 mg/l y 33,2 mg/l, lo que representa una mejor presencia de materia orgánica que degradar en la época lluviosa en ambos puntos, dando lugar a mejores condiciones para el ambiente, reproducción de animales y plantas.

Los sólidos en suspensión están relacionados con el parámetro B; tan pronto como este aumenta su valor, significa que existe menor calidad de sólidos suspendidos. En la parte media hubo gran diferencia significativa en los valores de SST durante la época seca y la época lluviosa; disminuyó de 145,08 mg/l a 8,4 mg/l. Sin embargo, en la parte baja se obtuvo una disminución drástica de 211,7 mg/l a 11,04 mg/l, lo que estos valores representaron fue disminución en la turbidez del agua. Esto aumentó en la época lluviosa los procesos de fotosíntesis que permitió la reproducción de las plantas acuáticas que sirven como hábitat y alimento para los seres vivos acuáticos como los macroinvertebrados.

El parámetro C se relaciona con el oxígeno disuelto. En época seca y en época lluviosa, para ambos puntos de muestreo, los valores son bajos; lo que indicó poca cantidad de oxígeno disuelto. Esto involucró una excesiva cantidad de vida microbiana y organismos anaerobios, provenientes en su mayoría de las aguas residuales con alto contenido de heces fecales. Por tal razón no se puede utilizar para consumo humano menos utilizarla para algún tipo de riego.

El parámetro D está relacionado a la conductividad eléctrica; es decir, los minerales disueltos en el agua. Aunque la variación de la concentración de minerales varía muy poco de la época seca a la época lluviosa, se puede decir que en época seca, como en la parte media y la parte baja, aumentaron la concentración de minerales, en resumen existió un aumento de conductividad eléctrica.

Los valores de BMWP para la época seca, basados en el conteo y ponderación de los macroinvertebrados recolectados en los muestreos de la parte media como en la parte baja del río Marrullero, fueron 6,2 y 6,8, respectivamente. Ambos puntos se encontraron en el rango de calidad muy crítica, según la escala de BMWP-CR. Esto demuestra aguas altamente contaminadas, con alto contenido de materia orgánica, la mayoría proveniente de aguas residuales domésticas. Se identificó 6 familias de macroinvertebrados, dentro de las cuales dominan las que pertenecen al orden *Diptera*. En el punto ubicado en la parte baja de la zona 2 se encontraron estas tres órdenes: *Diptera*, *Annelida* y *Coleoptera*; este punto presentó una alta contaminación, con abundancia de materia orgánica, sedimento, escasa vegetación y agua altamente turbia. En tanto, el punto ubicado en zona 6, se encontró *Diptera*, *Annelida* y *Coleoptera*, presentó también alta contaminación, abundancia de materia orgánica, sedimento, escasa vegetación, desechos sólidos y agua altamente turbia.

Los valores de BMWP para la época lluviosa, basados en el conteo de familias de macroinvertebrados encontrados en la parte media como en la parte baja del río Marrullero, fueron 7,8 y 5 correspondientemente. Ambos puntos se encontraron en el rango de calidad muy crítica. Se identificó 5 familias de macroinvertebrados, dentro de las cuales mayormente pertenecen al orden *Diptera*, se trata de aguas contaminadas.

Para obtener el análisis de correlación lineal entre el índice ISQA con el índice BMWP, debido a el origen de los datos se determinó la correlación de por rangos de *Spearman* es recomendable utilizarlos cuando los datos presentan valores con amplios valores, debido a que afectan en medida el coeficiente de correlación de *Pearson*. En la figura 3 y tabla XIII se detalla el análisis de correlación para la época seca en el punto medio presenta una correlación negativa moderada, $r_s = - 0,53$, lo que quiere decir es que a medida que el índice BMWP aumenta, el índice ISQA disminuye; es decir, que los valores de los parámetros fisicoquímicos involucrados en la determinación no afectaron directamente a la diversidad de la biota en este punto. El punto bajo presenta una correlación negativa $r_s = - 0,18$ lo cual sugiere el mismo comportamiento que en la parte media sin embargo no se ajusta a un arreglo lineal. En ambos casos el índice BMWP respondió a las variaciones en los parámetros fisicoquímicos involucrados para la determinación del índice ISQA.

La figura 4 y tabla XIV muestra el análisis de correlación para la época lluviosa. En la parte media presenta una correlación positiva moderada $r_s = - 0,63$ al igual que en la parte baja $r_s = - 0,55$; esto quiere decir que a medida que el índice BMWP aumentó, el índice ISQA también aumentó. En ambos casos se puede decir que se ajusta mejor a un arreglo lineal, se puede decir que el índice BMWP respondió a las variaciones en los parámetros fisicoquímicos involucrados en la determinación del índice ISQA.

CONCLUSIONES

1. En el punto de muestreo de la parte media del río Marrullero, tanto en época seca como en lluviosa, la calidad del agua es mala con valor de ISQA 40,14 y 63,07, correspondientemente. Para el punto de muestreo correspondiente a la parte baja del río Marrullero, se determinó que en ambas épocas climáticas la calidad del agua es regular, con un valor de ISQA de 37,65 y 60,88, correspondientemente.
2. Los valores del índice BMWP para la época seca, establecidos en el conteo de macroinvertebrados encontrados tanto en la parte media y en la parte baja del río Marrullero, dieron valores de 6,2 y 6,8, correspondientemente. Ambos puntos se encuentran en el rango de calidad muy crítica. Para la época lluviosa, los valores del índice BMWP dieron valores de 7,8 y 5, para la parte media y baja, correspondientemente; ambos puntos se encuentran en el rango de calidad muy crítica, indicando aguas altamente contaminadas.
3. En la época seca, la parte media presenta una correlación negativa baja con un coeficiente de *Spearman* con valor $r_s = - 0,53$ y la parte baja presenta una correlación negativa de valor $r_s = - 0,18$. Para la época lluviosa la parte media representa una correlación positiva con un coeficiente de valor $r_s = 0,63$, y la parte baja presenta una correlación positiva con valor de $r_s = 0,55$. En varios grados de dependencia, se muestra que sí existió correlación lineal entre los índices ISQA y BMWP.

4. Se logró georreferenciar la información de la microcuenca del río Marrullero para ambos puntos de muestreo en las dos épocas climáticas analizadas con las herramientas digitales de google Earth y ArcGis. De manera general se tiene el valor de índice ISQA 50,43; y el valor del índice BMWP es 6,45; dando evidencia de que se tienen aguas muy contaminadas. estos datos alimentaron la base de datos de la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de la Ciudad de Guatemala.

RECOMENDACIONES

1. Analizar en tres puntos distintos las mediciones para evaluar la calidad del agua de una microcuenca para obtener un mejor análisis y comportamiento de la calidad del agua conforme el trayecto de la microcuenca.
2. Realizar los muestreos de ambas épocas cuando se den las estaciones bien establecidas en el caso de la época seca de diciembre a abril y la época lluviosa de finales de agosto hasta fecha final de octubre. De tal forma que se defina con certeza los valores de contaminación.
3. Establecer plantas de tratamiento y biodigestores para tratar las aguas vertidas por las residencias cercanas a los ríos para reducir la contaminación del agua en el río.

BIBLIOGRAFÍA

1. 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 Ing. Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 76 p.
2. FIGUEROA, Ricardo. *Bioindicación y calidad del agua en el río Chillan*. [en línea]. < https://www.researchgate.net/publication/262720642_Analisis_comparativo_de_indices_bioticos_utilizados_en_la_evaluacion_de_la_calidad_de_las_aguas_en_un_rio_mediterraneo_de_Chile_rio_Chillan_VIII_Region>. [Consulta: 22 de junio de 2018].
3. GUALDRÓN DURAN, Luis Eduardo. *Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos*. [en línea]. <<https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ambiental/article/view/4593>>. [Consulta: 20 de junio de 2018].
4. INSIVUMEH. *Ríos de Guatemala*. [en línea]. <<http://insivumeh.gob.gt/hidrologia/rios%20de%20guate.htm#RED%20HIDROLOGICA>>. [Consulta: 17 de abril de 2018].
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 BMW. Trabajo de graduación de Inga. Química Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2019. 82 p.

6. JÓ HERNANDEZ, Raúl Alejandro. *Evaluación de la calidad del agua del río El Tala, Catamarca, Argentina, a través de índices bióticos (BMWP', ASPT', IBF) y un índice fisicoquímico (ISCA)*. Trabajo de graduación de Ing. Ambiental. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2019. 157 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. MARTINEZ HURTADO, Rodolfo José. *Evaluación cualitativa de la influencia estacional en la calidad del agua del río Ocotes de la ciudad de Guatemala por medio de la determinación del índice simplificado de calidad del agua (ISQA)*. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2016. 84 p.
9. 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.

Ambienta. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2015. 163 p.

10. ORDOÑEZ GÁLVEZ, Juan Julio. *¿Qué es cuenca hidrológica?*. [en línea]. <https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf>. [Consulta: 8 de marzo de 2018].
11. PEQUERUL, Carlos. *Sustancias contaminantes y sus efectos en la calidad del agua*. [en línea]. <<https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/sustancias-contaminantes-y-susefectos-en-la-calidad-del-agua>>. [Consulta: marzo de 2017].
12. 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].
13. SIBER, Ventilacion Inteligente. *¿Qué son los contaminantes antropogénicos?*. [en línea]. <<https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/contaminantes-antropogenicos/>>. [Consulta: 22 de marzo de 2017].
14. SIERRA RAMIREZ, Carlos Alberto. *Calidad del Agua, Evaluación y Diagnostico*. Medellin, Colombia: Ediciones de la U, 2011. 457 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Parte baja del río Marrullero, zona 2**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Apéndice 2. **Parte media del río Marrullero, zona 6**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Apéndice 3. Requisitos Académicos

Campos de Conocimiento	Carrera	Área	Curso	Tema Específico	Temática a resolver
Ingeniería y Tecnología	Ingeniería Química	Química	*Análisis Cualitativo *Análisis Cuantitativo *Análisis Instrumental *Química Ambiental	pH Solubilidad Valoración de métodos Impacto Ambiental	Manejo de distintos parámetros físicos, químicos y biológicos. Interpretación de análisis.
		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 *Estadística 1 *Calidad del Agua *Control de Contaminantes Industriales	Ecuaciones algebraicas Gráficas polinomiales *Estadística Descriptiva *Variables Aleatorias *Índices de Calidad del agua. *Métodos de preservación *Plan de monitoreo Ambiental.	Cálculo de medias aritméticas. Interpretación de gráficas. Proporcionar elementos matemáticos que expliquen fenómenos. Aplicación de metodología e interpretación de datos sobre la calidad del agua. Puntos de muestreo y captación de los mismos.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.