



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

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PINULA,
MEDIANTE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE
BIÓTICO DE MACROINVERTEBRADOS (BMWP), EN JURISDICCIÓN DE LA CIUDAD DE
GUATEMALA**

Edna Tatiana Godínez Marroquín

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, febrero de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PINULA,
MEDIANTE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE
BIÓTICO DE MACROINVERTEBRADOS (BMWP), EN JURISDICCIÓN DE LA CIUDAD DE
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDNA TATIANA GODÍNEZ MARROQUÍN

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2020

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. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
EXAMINADOR	Ing. Juan Pablo Argueta Elias
EXAMINADOR	Ing. Julio David Vargas García
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:

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PINULA,
MEDIANTE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE
BIÓTICO DE MACROINVERTEBRADOS (BMWP), EN JURISDICCIÓN DE LA CIUDAD DE
GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 30 de enero de 2018.

Edna Tatiana Godínez Marroquín

Guatemala, 17 de julio de 2019

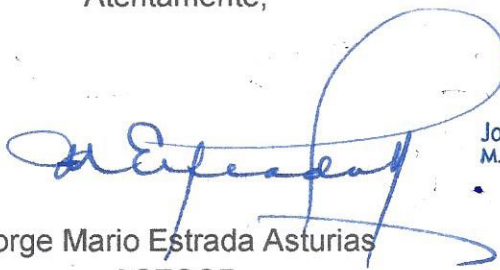
Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Williams:

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: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PINULA, MEDIANTE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE BIÓTICO DE MACROINVERTEBRADOS (BMWP), EN JURISDICCIÓN DE LA CIUDAD DE GUATEMALA”**, elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Química, **Edna Tatiana Godínez Marroquín**, quien se identifica con el registro académico **201222613** y con el CUI **2312 43901 0207**.

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

Atentamente,



Jorge Mario Estrada Asturias
ASESOR

Ingeniero Químico
Colegiado activo no. 685

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



Guatemala, 12 de noviembre de 2019.
 Ref. EIQ.TG-IF.045.2019.

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **065-2017**, 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: **Edna Tatiana Godínez Marroquín**.
 Identificado con número de carné: **2312439010207**.
 Identificado con registro académico: **201222613**.
 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:

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PINULA
 MEDIANTE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL
 ÍNDICE BIÓTICO DE MACROINVERTEBRADOS (BMWP), EN JURISDICCIÓN DE LA
 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"

Jorge Mario Estrada Asturias
 Casta Petrona Zeceña Zeceña
 Profesional de la Ingeniería Química
 COORDINADOR DE TERNA
 Tribunal de Revisión
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.009.2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación, de la carrera de Ingeniería Química, de la estudiante, **EDNA TATIANA GODÍNEZ MARROQUÍN** titulado: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PINULA, MEDIANTE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE BIÓTICO DE MACROINVERTEBRADOS (BMWP), EN JURISDICCIÓN DE LA CIUDAD DE GUATEMALA”**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Williams G. Álvarez Mejía; M.I.Q., M.U.I.E
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, febrero de 2020

Cc: Archivo
WGAM/ale



Ref. DTG.088-2020

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: **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PINULA, MEDIANTE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE BIÓTICO DE MACROINVERTEBRADOS (BMWP), EN JURIDICCIÓN DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Edna Tatiana Godínez Marroquín**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, febrero de 2020.

AACE/asga



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser la luz que ilumina mi camino y me permitió tener este logro.
Mis padres	Edna Marroquín y Héctor Godínez, son mi inspiración y mi motor.
Mi novio	Brayan Lemus, mi compañero y consejero.
Mis amigas del Belga	Dayanna, Lourdes, Patty y Florecitas, por estar presentes en todo este camino y darme momentos de alegría.
Mis amigos de la Facultad	Por ayudarme a terminar este trabajo, por su apoyo y porque me han permitido formar parte de su vida.
Mi familia	Mis primos y tíos por ser parte importante de mi vida y mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudio y darme las herramientas necesarias para poder desarrollarme como profesional.

**Asesor Ing. Jorge
Estrada**

Por compartir su conocimiento y su experiencia en el tema.

**Municipalidad de
Guatemala, Dirección de
Medio Ambiente**

Por darme la oportunidad de realizar el presente estudio de investigación y brindarme 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 necesarios para el desarrollo del presente estudio de investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTADO DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Calidad del agua.....	5
2.2. Hidrología.....	5
2.2.1. Cuerpos de agua lénticos.....	6
2.2.2. Cuerpos de agua lóticos.....	6
2.3. Cuenca hidrográfica.....	7
2.3.1. División de una cuenca.....	7
2.3.2. Río principal.....	8
2.3.3. Funciones de una cuenca hidrográfica.....	9
2.3.4. Características hidrológicas de la microcuenca del río Pinula.....	9
2.4. Clima.....	10
2.4.1. Estaciones climáticas de Guatemala.....	10
2.4.1.1. Zona climática Ciudad de Guatemala..	10
2.4.1.2. Verano.....	11

	2.4.1.3.	Invierno.....	11
	2.4.1.4.	Época de estiaje.....	11
2.5.		Contaminación de los cuerpos de agua	12
2.6.		Índices de calidad	14
	2.6.1.	Índices bióticos.....	14
	2.6.1.1.	Ventajas de utilizar bioindicadores para el monitoreo de la calidad del agua	15
	2.6.1.2.	Índice biótico BMWP	15
		2.6.1.2.1. Modificaciones del índice BMWP	17
		2.6.1.2.2. El índice BMWP-CR.....	18
	2.6.1.3.	Índice biótico ASPT	21
	2.6.1.4.	Índices de diversidad.....	21
	2.6.2.	Índices fisicoquímicos	23
	2.6.2.1.	Ventajas de utilizar índices fisicoquímicos en el monitoreo de la calidad del agua.	23
	2.6.2.2.	Índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)	23
	2.6.2.3.	Otros índices fisicoquímicos utilizados para la evaluación de la calidad del agua	25
3.		DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
	3.1.	Variables	27
		3.1.1. Variables independientes	27
		3.1.2. Variables dependientes	28
	3.2.	Delimitación de campo de estudio	28

3.3.	Recursos humanos disponibles.....	29
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	30
3.4.1.	Equipo de protección personal	30
3.4.2.	Material, cristalería y equipo para la recolección de muestras	30
3.5.	Técnica de estudio	31
3.5.1.	Índice simplificado de calidad del agua, ISQA.....	31
3.5.2.	Índice biótico BMWP.....	32
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	32
3.6.1.	Índice simplificado de calidad del agua, ISQA.....	32
3.6.1.1.	Procedimiento de muestreo	32
3.6.1.2.	Análisis de muestras.....	33
3.6.2.	Índice biótico BMWP.....	33
3.6.2.1.	Procedimiento de muestreo	33
3.6.2.2.	Análisis de muestras de macroinvertebrados.....	34
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	35
3.7.1.	Tabulación y ordenamiento de la información	35
3.7.1.1.	Índice simplificado de calidad del agua, ISQA	36
3.7.1.2.	Índice biótico BMWP.....	37
3.7.2.	Procesamiento de la información.....	39
3.7.2.1.	Modelo para la determinación del índice simplificado de la calidad del agua.....	40
3.7.2.2.	Método para la determinación del BMWP	41
3.8.	Análisis estadístico	42

3.8.1.	Coeficiente de correlación de Spearman	42
3.8.2.	Media muestral de un conjunto de números.....	43
4.	RESULTADOS.....	45
4.1.	Índice simplificado de la calidad del agua (ISQA).	45
4.2.	Índice biótico de macroinvertebrados BMWP.....	46
4.3.	Análisis de correlación entre el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el índice biótico de macroinvertebrados BMWP	51
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	55
	CONCLUSIONES.....	61
	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	65
	APÉNDICES.....	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de los puntos de muestreo, microcuenca del río Pinula	29
2.	Correlación entre el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte alta y parte baja, correspondiente a la época seca.....	51
3.	Correlación entre el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte alta y parte baja, correspondiente a la época lluviosa	53

TABLAS

I.	Puntajes asignados a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP	16
II.	Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo al índice BMWP.	17
III.	Listado taxonómico de familias del índice BMWP-CR.....	19
IV.	Clasificación de las aguas y su significado ecológico modificado para Costa Rica según índice BMWP-CR.....	21
V.	Clasificación de la calidad del agua según el ISQA	24
VI.	Parámetros fisicoquímicos del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), época seca	36
VII.	Parámetros fisicoquímicos del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), época lluviosa.....	37

VIII.	Registro de macroinvertebrados para índice biológico BMWP, época seca, parte alta.....	38
IX.	Registro de macroinvertebrados para índice biológico BMWP, época seca, parte baja.....	38
X.	Registro de macroinvertebrados para índice biológico BMWP, época lluviosa, parte alta	39
XI.	Registro de macroinvertebrados para índice biológico BMWP-CR, época lluviosa, parte baja	39
XII.	Índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), Parte alta zona 13, época seca y época lluviosa	45
XIII.	Índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), parte baja zona 21, época seca y época lluviosa	46
XIV.	Índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte alta zona 13, época seca	47
XV.	Índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte baja zona 21, época seca	48
XVI.	Índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte alta zona 13, época lluviosa	49
XVII.	Índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte baja zona 21, época lluviosa	50
XVIII.	Índices de calidad del agua por época de muestreo y general	51
XIX.	Análisis de correlación por rangos de <i>Spearman</i> entre el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte alta y parte baja, correspondiente a la época seca	52
XX.	Análisis de correlación por rangos de <i>Spearman</i> entre el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte alta y parte baja, correspondiente a la época seca	54

XXI.	Influencia de la época estacional en el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el índice biótico de macroinvertebrados BMWP, para la parte alta y la parte baja.....	54
------	---	----

LISTADO DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetros
r_s	Coefficiente de correlación de <i>Spearman</i>
DQO	Demanda química de oxígeno
A	Factor A ISQA
B	Factor B ISQA
C	Factor C ISQA
D	Factor D ISQA
T	Factor T ISQA
°C	Grados centígrados
BMWP	Índice biótico (<i>Biological monitoring working party</i>)
ISQA	índice simplificado de la calidad del agua
L	Litros
m	Metro
μs	Microsiemens
mg	Miligramos
O₂	Oxígeno
%	Porcentaje
SST	Sólidos suspendidos totales
T	Temperatura

GLOSARIO

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 de un lugar.
BMWP	<i>Biological monitoring working party</i> , procedimiento para medir la calidad del agua a través del análisis de macroinvertebrados como bioindicadores.
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 vuelve inapropiada o 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 seca	Temporada cuando la lluvia es escasa, con jornadas calientes y soleadas.
Época lluviosa	Temporada del año con abundantes precipitaciones.
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.
Índice simplificado de la calidad del agua	Índice que permite la determinación de la calidad con base en los 5 parámetros fisicoquímicos.
Macroinvertebrados	Animales invertebrados que habitan principalmente en sistemas de agua dulce, con tamaños superiores a los 0,5 mm.
Microcuenca	Son los afluentes a los ríos secundarios, entiéndase por caños, quebradas, riachuelos que desembocan y alimentan a los ríos secundarios.

Río

Es una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado, no constante.

Turbiedad

Medida del grado de transparencia que pierde el agua por la presencia de partículas en suspensión.

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó la calidad del agua en la microcuenca del río Pinula en jurisdicción de la Ciudad de Guatemala, mediante el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el índice biótico BMWP. Se determinó la influencia de las estaciones climáticas en los mismos. Todo esto como parte del proyecto de la creación de la línea base de la calidad ambiental de los ríos de la ciudad capital.

Se establecieron dos puntos de muestreo, representativos de la parte alta y baja de la microcuenca y se evaluaron los factores que contribuyen a que en determinado punto aumente o disminuya la contaminación del río. Los muestreos se llevaron a cabo dos veces al año, un día a la semana por cinco semanas consecutivas en época seca (marzo a mayo) y en época lluviosa (agosto-octubre), para determinar la influencia estacional en la calidad del agua. Además, se evaluó cómo se ve influenciado el índice biótico BMWP por los parámetros fisicoquímicos involucrados en la determinación del ISQA, mediante el análisis de correlación de *Spearman*. El estudio tuvo un carácter cuantitativo a la hora de evaluar la calidad del agua mediante el índice fisicoquímico ISQA y cualitativo al aplicar el índice biótico BMWP.

Quedó evidenciado que tanto en época seca como en época lluviosa el índice biótico BMWP obtuvo puntuaciones muy bajas, clasificó la calidad del agua como “muy crítica”, para ambos puntos de muestreo. Durante época seca y la época lluviosa las puntuaciones del índice ISQA registraron una calidad del agua “regular” en la parte alta, en contraste con la parte baja, donde se registró una calidad del agua “pésima”. El punto de muestreo ubicado en zona 21, que

representa la parte baja, evidentemente es el más afectado por la contaminación, que en su mayoría es proveniente de las diversas urbanizaciones e industrias aledañas al área.

OBJETIVOS

General

Evaluar la calidad del agua en la microcuenca del río Pinula mediante el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el índice biótico de macroinvertebrados (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 índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) en la parte alta y baja de la microcuenca del río Pinula, para evaluar la calidad del agua de la misma en época seca y en época lluviosa.
2. Determinar el índice biótico de macroinvertebrados BMWP en la parte alta y baja de la microcuenca del río Pinula, para evaluar la calidad del agua de la misma en época seca y en época lluviosa.
3. Comparar el comportamiento de los índices ISQA y BMWP en época seca y lluviosa, para establecer si existe influencia estacional en la calidad del agua.
4. Comparar los resultados de calidad de agua obtenidos mediante el índice ISQA y el índice BMWP, para establecer si existe correlación lineal entre ambos índices.

HIPÓTESIS

Hipótesis de trabajo

Existe influencia de los parámetros fisicoquímicos del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) sobre la carga biótica de macroinvertebrados expresado como el índice biológico BMWP, en la microcuenca del río Pinula.

Hipótesis estadística

- Hipótesis nula

No existe correlación lineal entre el índice simplificado de calidad de agua (ISQA) y el índice biológico BMWP.

- Hipótesis alterna

Sí existe correlación lineal entre el índice simplificado de calidad de agua (ISQA) y el índice biológico BMWP.

INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico, a nivel nacional, es altamente afectado por la presión humana y disminuye cada vez más su disponibilidad (cantidad y calidad). Actualmente, muchas de las zonas dentro de la Ciudad de Guatemala no poseen agua potable; reciben el recurso vital menos de una vez por semana, por lo que se ven en la necesidad de comprar la misma. Este decrecimiento en la disponibilidad del agua, aunado a un alto índice de crecimiento poblacional, genera conflictos que irán incrementando y agravándose si no se toman las medidas necesarias, como la regulación del uso del agua a través de mecanismos de planificación, normativas y leyes que permitan su protección y su distribución de forma responsable.

Con el incremento exponencial de la población se ha hecho obligatoria la sobreexplotación de los recursos naturales con el fin de cubrir la demanda de producción que cada día es mayor; esta situación ha provocado la contaminación de los ecosistemas acuáticos. El río Pinula en su paso por la ciudad de Guatemala se ve afectado por la contaminación proveniente principalmente de zonas industriales, urbanizaciones, entre otros. 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. Una de ellas es mediante el análisis de los parámetros de calidad del agua, los cuales miden las condiciones fisicoquímicas que presenta un cuerpo de agua, de manera temporal y puntual. También puede ser evaluada de manera biológica 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. Con el

presente estudio se quiere determinar la calidad del agua de la microcuenca del río Pinula, ya que el mal estado de la misma puede ser perjudicial para las comunidades en cercanías a la misma; a partir de resultados que se obtengan se pueden tomar acciones correctivas y planes de acción efectivos en relación al problema que se tiene.

1. ANTECEDENTES

Con el fin de facilitar la interpretación de datos fisicoquímicos y biológicos, cada vez más instituciones medioambientales, universidades y entes gubernamentales recurren a los índices de calidad y contaminación del agua, como el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el índice biótico de macroinvertebrados BMWP, los cuales proporcionan información o describen el estado de calidad de las aguas en cualquier parte del mundo. Guatemala no es la excepción, ya que, desde hace varios años, se están implementando ciertas metodologías basadas en índices fisicoquímicos y bióticos que permiten la creación de líneas base de calidad ambiental de los ríos del país. A nivel internacional, específicamente en países latinoamericanos también se ha presentado un sinnúmero de estudios, artículos e investigaciones, en donde se nota la importancia de los índices tanto fisicoquímicos como biológicos en el análisis de la calidad del agua de los diferentes recursos hídricos. A continuación, se presenta algunos estudios publicados:

En 2015, Marjorie Josefina Sánchez Herrera de la Universidad Francisco de Paula Santander en Colombia, publicó un artículo con el nombre de “El índice biológico BMWP (*Biological Monitoring Working Party score*), modificado y adaptado al cauce principal del río Pamplonita norte de Santander”. Concluyó que el índice biológico BMWP debido a su versatilidad es muy útil para la gestión de la calidad del agua; una vez sea adaptado y modificado para determinado cuerpo de agua lótico, ya que permite una evaluación rápida y acertada.

En el año 2015, el biólogo Jorge Alonso de la Universidad de Paraguay publicó un estudio llamado “Evaluación de la calidad del agua de los arroyos Cai Puente y Satí de Coronel Bogado, con base en el Índice BMWP como bioindicador”. Al analizar los indicadores físicoquímicos y biológicos según el ISQA y BMWP, determinó que se encontró con efectos de contaminación en las cuatro estaciones del año, debido en su mayoría a las actividades industriales y urbanas de la ciudad de Coronel Bogado.

Fátima Reyes y Mónica Springer, investigadoras del Centro de Investigaciones en Ciencias del mar, de Costa Rica, se trasladaron a Guatemala en 2014. Realizaron un estudio con el nombre de “Efecto del esfuerzo de muestreo en la riqueza de taxones de macroinvertebrados acuáticos y el índice BMWP/Atitlán”. Demostraron que es necesario calibrar los métodos de muestreo en estudios de biomonitoreo acuático y la aplicación de los índices bióticos.

En el año 2016, Ricardo Josué Pineda Lam, de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos, presentó un estudio llamado “Estandarización de la metodología para el cálculo del ICA en el monitoreo ambiental de la Ciudad de Guatemala”. Actualmente dicha metodología es utilizada por la división de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala, para el monitoreo de ríos en el proyecto que desarrollan para la creación de la línea base de calidad ambiental de los ríos, dentro de la Ciudad Capital.

En octubre de 2016, Angel Oseas Ajcabul Raxhón, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó un estudio de investigación llamado 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. Determinó que no existe diferencia significativa entre

los resultados obtenidos con el Índice Simplificado de Calidad del agua (ISQA) y el Índice de Calidad del Agua (ICA) para el río La Quebrada.

En septiembre de 2015, Silvia Alejandra Méndez, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presentó un estudio llamado “Determinación de la influencia de las características fisicoquímicas medidas a través del índice ISQA, sobre la biota medida a través del índice biótico BMWP, en la microcuenca del Río Contreras del municipio de Guatemala”. Se determinó en general, que la calidad del agua de la microcuenca del río Contreras se mantuvo en el rango muy crítico, es decir, aguas fuertemente contaminadas.

En el año 2013, Esteban Stuardo Acuña Campos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó un estudio que consistió en la determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab, departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos. Se obtuvo valores de calidad regular en la parte alta y media de la cuenca para ambos índices y valores de calidad regular, mala y muy mala para la parte baja de la cuenca en ambos índices. Se estableció que las posibles causas de contaminación se deben a contaminación por nutrientes utilizados en agricultura, a las que se añade en la parte baja las aguas residuales de todas las poblaciones de la cuenca.

2. MARCO TEÓRICO

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 un proceso industrial, puede no ser adecuada para consumo humano o para el uso en laboratorios químicos.

“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

2.2. Hidrología

El capital hídrico es uno de los recursos naturales más importantes para la vida. El agua abarca el 70 % del planeta; sin embargo, únicamente el 1 % pertenece a fuentes de agua dulce. El agua dulce es considerada un recurso renovable y su recuperación está regida por el ciclo hidrológico. A lo largo de la evolución de la humanidad se ha observado un creciente interés en el estudio de los recursos hídricos, ya que son totalmente necesarios para desarrollar distintas actividades del ser humano, por ejemplo; abastecimiento de agua potable, riego, generación de energía, procesos industriales, producción de

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. 25.

alimento, entre otros. En el caso de Guatemala, la investigación y control permanente en los diferentes cuerpos de agua está a cargo principalmente del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), el cual, a través del Departamento de Investigación y Servicios Hídricos, opera estaciones para mantener un monitoreo constante tanto de los ríos, como de algunos de los lagos y lagunas existentes en el territorio nacional. En la parte de hidrología aplicada e investigación se cuenta con estudios de cuencas y aplicación de modelos.²

Se tiene, además, investigación de calidad de agua y boletines anuales de datos hidrológicos, como también estudios de balance hídrico superficial por cuenca hidrográfica.

2.2.1. Cuerpos de agua lénticos

Los cuerpos de agua lénticos son aquellos que permanecen en un mismo lugar y que al ojo humano no poseen movimiento, como los lagos, las lagunas y pantanos. Estos ambientes cambian con el tiempo, disminuyen su profundidad y área, y aumentan la vegetación hasta la desaparición total del cuerpo de agua, proceso denominado eutrofización o eutrofización natural. Por lo general, los cuerpos de agua lénticos tienen menor variación de la temperatura a través del año.

2.2.2. Cuerpos de agua lóticos

Un cuerpo de agua lótico, a diferencia del léntico, posee movimiento, fluye. En un cuerpo lótico el agua siempre corre en una misma dirección, debido a

² Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH. *Ríos de Guatemala*. <http://www.insivumeh.gob.gt/riosdeguatemala.html>. Consulta: mayo de 2019.

que responde a la fuerza de la gravedad; el ejemplo más claro de estos son los ríos. Como consecuencia, el tiempo de residencia del agua es considerablemente menor que en los cuerpos de agua lénticos, ya que no permanecen mucho tiempo en un mismo lugar.³

2.3. 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, cuyo grado de complejidad aumenta en relación con el tamaño de la cuenca. Estos ecosistemas tienen elementos como el aire, el clima, el suelo, el subsuelo, el agua, la vegetación, la fauna, el paisaje, entre otros. En la cuenca hidrográfica existen interrelaciones como la degradación de un recurso como el agua, debido a la falta de educación ambiental, falta de aplicación de leyes y el uso de tecnologías inapropiadas.

2.3.1. División de una cuenca

Para manejo y estudio adecuado de una cuenca es necesario realizar ciertas divisiones geográficas que permitan un estudio más especializado de la misma. Se identifican las siguientes partes principales:

- Cuenca alta: corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas.

³ WER, Rolando. *Caracterización de la calidad fisicoquímica y microbiológica del río Morazán; Morazán, El Progreso.* p. 45.

- Cuenca media: donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido.
- Cuenca baja o zonas transicionales: donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas.

También se puede identificar subdivisiones de la misma:

- Subcuencas: 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, que una subcuenca está dividida en varias microcuencas.

2.3.2. Río principal

El río principal suele ser definido como el curso con mayor caudal de agua o bien con mayor longitud. La mayoría de cuencas de drenaje presentan un río principal bien definido desde la desembocadura hasta cerca de la divisoria de aguas. El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura.⁴ En el curso de un río se distinguen tres partes:

- Curso alto: ubicado en lo más elevado del relieve, en donde la erosión de las aguas del río es vertical.
- Curso medio: donde el río empieza a zigzaguear, se ensancha el valle.

⁴ ORDOÑEZ, Juan. *¿Qué es una cuenca hidrológica? Foro peruano para el agua.* http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf. Consulta: mayo de 2019.

- Curso bajo: situado en las partes más bajas de la cuenca. Allí el caudal del río pierde fuerza y los materiales sólidos que lleva se sedimentan.

2.3.3. Funciones de una cuenca hidrográfica

Dentro de la cuenca, están los componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos, cuyas funciones se describen a continuación:

- Función ambiental: constituyen sumideros de CO₂, alberga bancos de germoplasma, regula la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos y por último conserva la biodiversidad.
- Función ecológica: provee de hábitat para la flora y fauna que constituyen los elementos biológicos del ecosistema.
- Función hidrológica: captación de agua de las diferentes fuentes de precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos.
- Función socioeconómica: suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que permiten el sustento y desarrollo de las poblaciones aledañas.

2.3.4. Características hidrológicas de la microcuenca del río Pinula

La microcuenca del río Pinula se localiza dentro y al este de la cuenca del lago de Amatitlán, la cual pertenece a la vertiente del Océano Pacífico. Se ubica en la Ciudad de Guatemala y San José Pinula. “Con base en mapas topográficos se estableció que el río Pinula abarca toda la subcuenca y se

origina en la aldea El Canchón, dentro de la finca y lotificación Los Diamantes; rodea a la aldea El Pueblito y el casco urbano de Sta. Catarina Pinula, por la parte norte”.⁵ La parte alta de la microcuenca del río Pinula se ubica en la zona 13, carretera a Boca del Monte y la parte baja en zona 21 de la Ciudad de Guatemala.

2.4. Clima

El clima se define como el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en una región determinada de la superficie terrestre. El tema de la climatología está íntimamente relacionado con los asuntos de la vida cotidiana. En la era industrial, en la que un gran porcentaje de la población hace su trabajo diario bajo la cubierta de los elementos, ciertamente siente la mano controladora del clima.⁶

2.4.1. Estaciones climáticas de Guatemala

La ubicación tropical de Guatemala no permite que se marquen con precisión cuatro estaciones en el año, como en los países situados al norte o al sur de la línea del Ecuador. Las estaciones se reducen a dos: la lluviosa, a la que se le denomina invierno (mayo a octubre) y la seca, a la que se le denomina verano (noviembre a abril).

2.4.1.1. Zona climática Ciudad de Guatemala

La Ciudad de Guatemala se encuentra dentro de la zona climática de meseta y altiplanos que comprende los departamentos de Huehuetenango, El Quiché, San Marcos, Quetzaltenango Totonicapán, Sololá, Chimaltenango, Guatemala, sectores de Jalapa y las Verapaces. Las montañas definen mucha

⁵ MANZO, Daniel. *Reconocimiento hidrogeológico para la determinación de zonas de recarga hídrica en subcuenca del río Pinula, jurisdicción de San Catarina Pinula, Guatemala*. p. 57.

⁶ INSIVUMEH. *Ríos de Guatemala*. <http://www.insivumeh.gob.gt/riosdeguatemala.html>. Consulta: mayo de 2019

variabilidad con elevaciones mayores o iguales a 1 400 metros snm; generan diversidad de microclimas, son regiones densamente pobladas por lo que la acción humana se convierte en factor de variación apreciable.⁷

2.4.1.2. Verano

El verano es la estación climática más cálida, las lluvias son muy escasas. En la zona intertropical, donde se encuentra Guatemala, a veces se emplea el término verano para referirse a la estación seca y comprende los meses de noviembre a abril.

2.4.1.3. Invierno

Esta estación se caracteriza por días más cortos, noches más largas y temperaturas más bajas a medida que nos alejamos del Ecuador. En algunos países de la zona intertropical, como Guatemala, se denomina invierno a la estación lluviosa de mayor precipitación y pluviosidad. Denominamos precipitación a la caída de agua líquida o sólida sobre la superficie terrestre. Comprende los meses de mayo a octubre.

2.4.1.4. Época de estiaje

Se conoce como estiaje al período seco, no se presentan lluvias considerables. En Guatemala, los meses de marzo y abril constituyen la expresión principal de la sequía.

⁷ INSIVUMEH. *Ríos de Guatemala*. <http://www.insivumeh.gob.gt/riosdeguatemala.html>. Consulta: mayo de 2019.

2.5. Contaminación de los cuerpos de agua

Un contaminante es un factor ajeno a las características propias del ecosistema, que genera alteraciones negativas a las condiciones y propiedades de los recursos hídricos. Entre las diferentes causas de contaminación de agua, se destacan:

- Los compuestos tóxicos de origen químico: tienen la capacidad de alterar las características químicas del agua, ocasionan excedentes en la concentración de parámetros como la DQO y metales pesados; factor que puede repercutir en la muerte de los organismos y hacer que el agua no sea apta para el uso humano.
- La materia orgánica disuelta: al descomponerse causa mal olor, coloración indeseable y mal sabor al agua.
- La presencia de patógenos en el agua como el dengue, cólera, hepatitis, diarrea, malaria y polio, entre otros, es altamente perjudicial para la salud humana.
- Algunos nutrientes también son un problema de contaminación si se encuentran en exceso. En los sistemas hídricos incrementan la tasa de crecimiento de las macrófitas y el fitoplancton aumentado, a veces, la productividad del sistema. Este proceso se denomina eutrofización antropogénica.
- Cuando la materia orgánica se descompone, el oxígeno disuelto en el agua disminuye considerablemente, hasta causar estados de anoxia, que

causa la muerte de peces y otras especies que habitan el cuerpo de agua.

- Las partículas físicas del agua también afectan la calidad del agua, ya que alteran su claridad y transparencia, disminuyen las tasas fotosintéticas, actúan como abrasivos que lastiman organismos y transportan material tóxico.⁸

Entre las principales fuentes de contaminación se encuentran:

- Agrícola ganadero: como resultado del riego y de otras labores como limpieza ganadera, llegan hasta el agua grandes cantidades de estiércol y orines (materia orgánica, nutrientes y microorganismos).
- Origen doméstico: son las que provienen de núcleos urbanos. Contienen sustancias procedentes de la actividad humana (alimentos, basuras, productos de limpieza, jabones, entre otros).
- Origen pluvial: se origina por arrastre de la suciedad que encuentra a su paso el agua de lluvia.
- Origen industrial: los procesos industriales generan una gran variedad de aguas residuales, que van contaminadas de químicos tóxicos, grasas, metales pesados, entre otros.⁹

⁸ WER, Rolando. *Caracterización de la calidad fisicoquímica y microbiológica del río Morazán; Morazán, El Progreso*. p. 45.

⁹ *Ibíd.*

2.6. Índices de calidad

Los índices de calidad son herramientas que permiten asignar un valor de calidad al cuerpo de agua a partir del análisis de diferentes parámetros. Al combinarlos se tendrá una visión más precisa del estado ecológico de cualquier cuerpo de agua. Características de los índices:

- Simplifican y resumen datos complejos.
- Se componen por 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, ya que las condiciones ambientales cambian constantemente.

2.6.1. Índices bióticos

Los índices bióticos se basan en la utilización de especies acuáticas para evaluar la calidad del agua desde el punto de vista de tolerancia de las especies a la contaminación. Se utiliza complementariamente a los análisis fisicoquímicos. Aunque con su aplicación es imposible identificar los agentes contaminantes existentes, sus ventajas son que no se limitan al momento de toma de la muestra; permiten descubrir cambios producidos a lo largo del tiempo, ya que los organismos vivos presentan adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales y tienen límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas. Esto permite tener una cierta visión histórica de los acontecimientos ocurridos en un período de tiempo, en función de la dinámica de las comunidades biológicas presentes.

2.6.1.1. Ventajas de utilizar bioindicadores para el monitoreo de la calidad del agua

Las principales ventajas por las cuales se consideran los organismos vivos como buenos indicadores de la calidad del agua son:

- Los datos biológicos responden a situaciones, no a variables únicas.
- Los índices biológicos dan testimonio del impacto contaminante durante un período de tiempo más o menos largo, no solo del momento de la toma de muestras.
- La toxicidad de los contaminantes se estima por sus efectos biológicos, no por su concentración en el agua.
- Permiten la evaluación detallada de la capacidad de respuesta del medio (magnitud del impacto y recuperación).
- Menores costos del seguimiento biológico en comparación con el fisicoquímico, si el número de contaminantes es elevado.
- Los resultados del análisis biológico son fáciles de expresar y de interpretar, son prácticos y sencillos.

2.6.1.2. Índice biótico BMWP

El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) es 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.¹⁰

Tabla I. **Puntajes asignados a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP**

Familia	Puntaje
<i>Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gripopterygidae, Lampyridae, Odontoceridae, Perlidae, Polymitarcyidae, Polythoridae, Psephenidae</i>	10
<i>Coryphoridae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gomphidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Limnephilidae, Oligoneuriidae, Philopotamidae, Platystictidae, Polycentropodidae, Xiphocentroni</i>	9
<i>Atyidae, Calamoceratidae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydraenidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Naucoridae, Palaemonidae, Pseudothelphusidae, Trichodactylidae, Saldidae, Sialidae, Sphaeriida</i>	8
<i>Ancylidae, Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Crambidae, Dicteriadidae, Dixidae, Elmidae, Glossosomatidae, Hyaellidae, Hydrobiidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Lestidae, Ochteridae</i>	7
<i>Aeshnidae, Ampullariidae, Caenidae, Corydalidae, Dryopidae, Dugesidae, Hyriidae, Hydrochidae, Limnichidae, Lutrochidae,</i>	6
<i>Ceratopogonidae, Corixidae, Gelastocoridae, Gyrinidae, Libellulidae, Mesoveliidae, Nepidae, Notonectidae, Planorbidae, Simuliidae, Tabanidae, Thiaridae</i>	5
<i>Belostomatidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Ephydriidae, Glossiphoniidae, Haliplidae, Hydridae, Muscidae Scirtidae, Empididae, Dolichopodidae, Hydrometridae, Noteridae, Sciomyzidae</i>	4
<i>Chaoboridae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Stratiomyidae, Tipulidae.</i>	3
<i>Chironomidae (cuando no es la familia dominante), Isotomidae, Culicidae, Psychodidae, Syrphidae</i>	2
<i>Haplotaxida, Tubificidae</i>	1







Fuente: ÁLVAREZ, Luisa. *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. p. 23.

Luego de identificar las especies de macroinvertebrados se busca la puntuación de cada familia y se obtiene el valor del índice BMWP mediante la

¹⁰ ALVAREZ, Luisa. *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. p. 68.

suma total de las puntuaciones de cada familia presente. Según el valor del índice BMWP obtenido se puede determinar la calidad del cuerpo hídrico. Los colores por utilizar para su representación cartográfica son:

Tabla II. **Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo al índice BMWP**

Clase	Calidad	Valor de BMWP	Significado	Color
I	Buena	>150	Aguas muy limpias	
		123-149	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	71-122	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación	
III	Dudosa	46-70	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Crítica	21-45	Aguas muy contaminadas	
V	Muy crítica	<20	Aguas fuertemente contaminadas: situación crítica	

Fuente: ÁLVAREZ, Luisa. *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. p. 24.

2.6.1.2.1. Modificaciones del índice BMWP

Debido a la fácil aplicación y el ahorro de recursos para el monitoreo del índice, existen varias modificaciones para el mismo. Para efectos de este estudio, se mencionará las realizadas en países hispanoamericanos. La primera de las más importantes es el IBMWP (*Iberian Biological Monitoring Working Party*, antes llamado BMWP), el cual, como su nombre lo indica, es aplicable para los cuerpos de agua en la península ibérica.¹¹

¹¹ MÉNDEZ, Silvia. *Determinación de la influencia de las características fisicoquímicas medidas a través del índice simplificado de la 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. 23.

Fue creado por Javier Alba-Tercedor y, hasta la fecha, se ha realizado un sinnúmero de estudios con base en este índice en muchas cuencas de España. Existe, además, la creada por el biólogo colombiano Gabriel Roldán Pérez, quien ha trabajado en muchas investigaciones acerca del uso de macroinvertebrados como bioindicadores. El índice que creó es el denominado en algunos textos BMWP-R (BMWP modificado por Roldán) o por el mismo Roldán como BMWPA (BMWP modificado para Antioquía, Colombia).

En Centroamérica se han realizado estudios similares, sin embargo, existen solamente dos métodos modificados para la zona. El primero es el método de Hillsenhoff modificado para El Salvador, y el segundo, el método BMWP modificado para Costa Rica, que se presenta a continuación.

2.6.1.2.2. El índice BMWP-CR

El BMWP-CR (*Biological Monitoring Working Party* modificado para Costa Rica por Astorga, Martínez, Springer y Flowers) es un índice que se calcula sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones encontrados en las muestras de macroinvertebrados, las cuales se asignan según el grado de sensibilidad de cada uno.

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

¹² MAFLA, Maribel. *Guía para Evaluaciones Ecológicas Rápidas con Indicadores Biológicos en Ríos de Tamaño Mediano Talamanca - Costa Rica*. 9 p.

El puntaje se asigna una sola 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 sitio de muestreo es la que brinda el valor final del índice. Este índice no solo ha sido aplicado en Costa Rica.¹³

En la siguiente tabla se muestran las familias de macroinvertebrados bentónicos para este índice, junto a su respectiva puntuación para Costa Rica.

Tabla III. **Listado taxonómico de familias del índice BMWP-CR**

Orden	Familia	Puntaje
Odonata	<i>Polythoridae</i>	9
Diptera	<i>Blephariceridae; Athericidae</i>	
Ephemeroptera	<i>Heptageniidae</i>	
Plecoptera	<i>Perlidae</i>	
Trichoptera	<i>Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae</i>	
Ephemeroptera	<i>Leptophlebiidae</i>	8
Odonata	<i>Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae</i>	
Trichoptera	<i>Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae</i>	
Blattodea	<i>Blaberidae</i>	
Coleoptera	<i>Ptilodactylidae; Psephenidae;</i>	7
Odonata	<i>Lutrochidae</i>	
Trichoptera	<i>Gomphidae; Lestidae; Platystictidae</i>	
Crustacea	<i>Megapodagrionidae; Protoneuridae;</i>	
Odonata	<i>Libellulidae</i>	6
Megaloptera	<i>Corydalidae</i>	
Trichoptera	<i>Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae</i>	
Xiphocentronidae	<i>Euthyplociidae; Isonychidae</i>	5
Lepidoptera	<i>Pyralidae</i>	

¹³ MÉNDEZ, Silvia. *Determinación de la influencia de las características fisicoquímicas medidas a través del índice simplificado de la 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. 25.







Continuación de la tabla III.

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

Fuente: Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica. *Despacho de energía*.

<https://www.minae.go.cr/>. Consulta: mayo de 2019.

Tabla IV. **Clasificación de las aguas y su significado ecológico modificado para Costa Rica según índice BMWP-CR**

Calidad	Valor de BMWP	Significado	Color
Excelente	>120	Aguas muy limpias	
Buena	101 -120	Aguas no contaminadas	
Aceptable	61-100	Aguas de calidad regular, eutrófica, contaminación Moderada.	
Dudosa	36 – 60	Aguas de calidad mala, contaminadas.	
Crítica	16 – 35	Aguas de calidad mala, muy contaminadas.	
Muy crítica	<15	Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas.	

Fuente: Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica. *Despacho de energía*.

<https://www.minae.go.cr/>. Consulta: mayo de 2019.

2.6.1.3. Índice biótico ASPT

El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (*average score per Taxon*), también es un índice valioso para la evaluación de la calidad del agua. Se calcula dividiendo el puntaje total BMWP por el número de los taxones calificados en la muestra, lo cual expresa el promedio de indicación de calidad del agua que tienen las familias de macroinvertebrados encontradas en un sitio determinado. Los valores ASPT van de 0 a 10. Un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indicará condiciones graves de contaminación.

2.6.1.4. Índices de diversidad

El planteamiento de este índice supone que los ambientes no alterados poseen alta riqueza, distribución uniforme de organismos entre especies y una moderada cantidad de individuos; por el contrario, si el ambiente se encuentra contaminado con desechos orgánicos, habrá una disminución de riqueza, pérdida de organismos sensibles, aumento de la abundancia de organismos tolerantes y por supuesto un descenso en la equitatividad. Finalmente, si el ambiente se

encuentra contaminado con material tóxico no degradable disminuirá tanto la riqueza como la abundancia.¹⁴

- El índice biótico de Trent: se utiliza para indicar el grado de tensión producido por las aguas residuales en comunidades animales de río, a partir de las cantidades de taxones y la presencia de especies o grupos claves. Utiliza 6 taxones y la valoración final del agua varía entre 0 (mala) y 15 (buena).
- Índice de Shannon y Weaver: describe cómo se comportan los organismos de una manera numérica; el índice presenta una escala de 4,5 – 2,5, cuando se presentan valores menores a 2,5; indica que se presentan problemas de contaminación.
- Índice de Simpson: el índice de Simpson es uno de los que más se utilizan para determinar el comportamiento numérico de las especies. El valor de este índice está comprendido entre 0 y 1.
- Índice de Margalef: es un índice de diversidad alfa que mide la riqueza de una determinada especie.
- Índices de similitud de Jaccard y Sorensen: estos índices miden la similitud que hay entre una especie y otra en un determinado lugar; es decir, la presencia o ausencia de los organismos. Su valor puede oscilar entre 0 y 1, es 0 cuando la similitud de especies compartidas es baja y 1 cuando la similitud es mayor.

¹⁴ DAZA, María. *Bioindicación de la calidad del agua del río Subashoque mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos con una integración espacial y temporal*. p. 27.

2.6.2. Índices fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos dan información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta información, pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico.

2.6.2.1. Ventajas de utilizar índices fisicoquímicos en el monitoreo de la calidad del agua.

La ventaja de los métodos fisicoquímicos se basa en que los análisis suelen ser más rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia, en comparación con los métodos biológicos, basados en la observación y medición de ciertas comunidades de seres vivos en las aguas. La elección de las especies debe ser cuidadosa, ya que de esta depende la evaluación de la calidad del recurso, que generalmente solo se realiza para un uso determinado; a diferencia de las fisicoquímicas, que permiten una evaluación para diferentes tipos de uso.¹⁵

2.6.2.2. Índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)

“El ISQA se basa en 5 parámetros fisicoquímicos: temperatura, conductividad, sólidos en suspensión, DQO y oxígeno disuelto. Permite evaluar el grado de contaminación y la calidad del agua de los recursos hídricos”.¹⁶





A continuación, se describen cada uno de los parámetros antes mencionados:

¹⁵ SAMBONI, Natalia. *Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua Ingeniería e Investigación. Revista Ingeniería e Investigación.* <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64327320>. Consulta: marzo de 2019.

¹⁶ *Ibid.*

- **Temperatura:** la temperatura del agua afecta los procesos de colonización bacteriana, como también la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.
- **Conductividad:** es una expresión numérica de la habilidad del agua para transportar una corriente eléctrica a través de la electronegatividad de los cationes y aniones disueltos en la misma.
- **Sólidos en suspensión:** las partículas suspendidas son impurezas contenidas en el agua, tan pequeñas que los filtros convencionales no son capaces de retenerlas, ni los tratamientos de sedimentación y filtración son suficientes para removerlas del agua. Se aplican procedimientos de floculación para su remoción. Dichas partículas poseen diámetros entre 0,1 μm y 0,01 μm y, son las causantes de la turbiedad en el agua.
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** los microorganismos que se encuentran de forma natural en el agua consumen el oxígeno disuelto en el agua. El volumen de oxígeno requerido por los microorganismos para descomponer una determinada cantidad de materia orgánica es denominado demanda bioquímica de oxígeno (DBO). La DBO es una forma de medir la contaminación presente en el cuerpo de agua. En ausencia de oxígeno, las bacterias anaeróbicas proliferan descomponiendo desperdicios y confiriéndole mal olor y sabor al agua.
- **Oxígeno disuelto:** el oxígeno presente en el agua procede de la disolución del oxígeno atmosférico y de la actividad fotosintética de los organismos acuáticos. Este oxígeno es consumido por organismos heterótrofos y autótrofos, se reproduce un balance dinámico en la concentración de oxígeno en el agua.¹⁷

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

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

Fuente: SAMBONI, Natalia. *Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua Ingeniería e Investigación. Revista Ingeniería e Investigación.*
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64327320>. Consulta: 5 de marzo de 2019.

¹⁷ ROLANDO, Wer. *Caracterización de la calidad fisicoquímica y microbiológica del río Morazán; Morazán, El Progreso.* p. 45.

2.6.2.3. Otros índices fisicoquímicos utilizados para la evaluación de la calidad del agua

- Índice de calidad general (ICG): es un valor adimensional que se basa en 23 parámetros procesados mediante ecuaciones lineales, de los cuales se utilizan 9 básicos y los restantes 14 son complementarios, según su influencia en la calidad. Los 9 parámetros básicos son: coliformes totales, conductividad, DBO, DQO, fósforos totales, sólidos en suspensión, nitratos, oxígeno disuelto y pH.
- Índice automático de calidad de aguas (IAQA): es una variante del ISQA, con la variante de que utiliza COT (carbono orgánico total) en lugar de DQO, debido a que proporciona datos más exactos.
- Índice de calidad del agua (ICA): el índice se basa en el resumen de nueve parámetros físicos, químicos y biológicos en una escala de 0 a 100 puntos; el resultado final es interpretado de acuerdo a la escala de clasificación desarrollada por la NFS.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A continuación, se describen las variables independientes.

3.1.1. Variables independientes

- Demanda química de oxígeno (DQO), en miligramos por litros
- Temperatura, en grados centígrados
- Oxígeno disuelto, en miligramos por litros
- Sólidos en suspensión, en miligramos por litros
- Conductividad, en microsiemens por centímetro
- Puntuación BMWP de la biota presente

Todas las variables establecidas anteriormente, son susceptibles de monitoreo a:

- Puntos de muestreo
 - Parte alta: zona 13
 - Parte baja: zona 21
- Épocas del año
 - Época seca
 - Época lluviosa

3.1.2. Variables dependientes

- Índice simplificado de calidad del agua, ISQA
- Índice biótico BMWP

3.2. Delimitación de campo de estudio

En el presente estudio se abarca el monitoreo y análisis de la calidad del agua mediante el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) y el índice biológico BMWP de la microcuenca del río Pinula, ubicada dentro del municipio de Guatemala, en las zonas 13 y 21.

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

- Parte baja: zona 21
- Parte alta: zona 13

Los muestreos se realizarán tanto en la época seca como en época lluviosa del 2018, para el análisis de los efectos de las condiciones climáticas de ambas épocas.

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



Fuente: Google Earth. *Microcuencas*. <https://www.google.com/intl/es-419/earth/>. Consulta: marzo de 2019.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: bachiller Edna Tatiana Godínez Marroquín.
- 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

A continuación, se describen 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

3.4.2. Material, cristalería y equipo para la recolección de muestras

- Índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)
 - Multiparamétrico, marca Hach
 - Espectrofotómetro
 - Termoreactor
 - Balanza analítica
 - Bomba de vacío
 - Horno de secado
 - Reactivos de DQO
 - Pipeta de 5 mL
 - Probeta de 10 mL
 - Filtros para análisis de sólidos en suspensión
 - Kitasato
 - Recipientes plásticos de 1 litro de capacidad para transportar muestras de agua residual

- Índice Biótico BMWP
 - Hielera o recipiente para transportar muestras de macroinvertebrados.
 - Red de muestreo tipo D (cedazo de 1 mm).
 - Etanol al 70 %.
 - Glicerina para conservar muestras de macroinvertebrados.
 - Recipientes para muestras biológicas (capacidad 100 ml).
 - Estereoscopio.
 - Bandeja plástica blanca para identificación de especies.
 - Papel mayordomo.
 - Pinzas.
 - Cámara digital o celular para la toma de fotografías.

3.5. Técnica de estudio

A continuación, 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 determinan 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 Pinula en jurisdicción de la Ciudad Capital. Se seleccionó un sector de fácil acceso y representativo de la parte alta y baja del río Pinula, zona 13 (parte alta) y zona 21 (parte baja). El procedimiento de muestreo y análisis para la obtención de la información, se describe a continuación tanto para el ISQA como para el BMWP.

3.6.1. Índice simplificado de calidad del agua, ISQA

A continuación se explica a detalle el procedimiento que se lleva a cabo para la toma de muestras de agua del río Pinula 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 las muestras. Estos deben estar debidamente esterilizados y libres de contaminación.
- Seleccionar un tramo de río no superior a 50 m de largo. Este tramo debe ser representativo de la generalidad del río.

- Iniciar el muestreo, sumergir el recipiente a una profundidad entre 15 a 30 cm y tomar la muestra a contracorriente.
- Sellar cuidadosamente el recipiente para evitar derrames y alteraciones. Etiquetarlos y identificarlos.
- 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 4-10 °C para su traslado al laboratorio.

3.6.1.2. Análisis de muestras

Las muestras serán trasladadas al Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac, donde se realizarán las pruebas para determinar sólidos suspendidos y demanda química de oxígeno involucrados en el cálculo de índice simplificado de calidad del agua (ISQA).

3.6.2. Índice biótico BMWP

A continuación se detalla el procedimiento de recolección de muestras de macroinvertebrados en los dos puntos de muestreo del río Pinula.

3.6.2.1. Procedimiento de muestreo

- Seleccionar un tramo de río no superior a 50 m de largo. Este tramo debe ser representativo de 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 agarradero y colocarla a contracorriente en contacto con el fondo de la superficie del río.
- Después de 5 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 posterior análisis.
- Enjuagar 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 de un punto con otro.
- Colocar las muestras en una hielera o recipiente estable para su traslado al laboratorio.

3.6.2.2. 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 estereoscopio para ser observado.
- Ayudarse de claves y guías taxonómicas para la identificación de organismos.
- Colocar los organismos en un recipiente con una 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

A continuación 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 obtener los mismos.

3.7.1. Tabulación y ordenamiento de la información

A continuación 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

Se presentan los modelos de tablas para registrar los 5 parámetros fisicoquímicos involucrados en la determinación del ISQA, para las 5 semanas de muestreo correspondientes a la época seca y las 5 semanas a la época lluviosa; tanto para la parte alta como la parte baja del río Pinula.

Tabla VI. **Parámetros fisicoquímicos del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), época seca**

Punto de muestreo	Parámetro	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
Parte alta	T	Temperatura				
	A	DQO				
	B	S.suspendidos				
	C	Oxígeno disuelto				
	D	Conductividad				
Parte baja	T	Temperatura				
	A	DQO				
	B	S.suspendidos				
	C	Oxígeno disuelto				
	D	Conductividad				

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Parámetros fisicoquímicos del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), época lluviosa**

Punto de muestreo	Parámetro	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
Parte Alta	T	Temperatura				
	A	DQO				
	B	S.suspendidos				
	C	Oxígeno disuelto				
	D	Conductividad				
Parte Baja	T	Temperatura				
	A	DQO				
	B	S.suspendidos				
	C	Oxígeno disuelto				
	D	Conductividad				

Fuente: elaboración propia.

3.7.1.2. Índice biótico BMWP

Se presentan los modelos de tablas para registrar las especies de macroinvertebrados acuáticos recolectados durante el muestreo en las 5 semanas correspondientes a la época seca y las 5 semanas de época lluviosa; tanto para la parte alta como la parte baja del río Pinula.

Tabla VIII. Registro de macroinvertebrados para índice biológico BMWP, época seca, parte alta

Semana 1			Semana 2			Semana 3			Semana 4			Semana 5		
Especie	Familia	Puntua.	Especie	Familia	Puntua.	Especie	Familia	Puntua.	Especie	Familia	Puntua.	Especie	Familia	Puntua.
..

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Registro de macroinvertebrados para índice biológico BMWP, época seca, parte baja

Semana 1			Semana 2			Semana 3			Semana 4			Semana 5		
Especie	Familia	Puntua.	Especie	Familia	Puntua.	Especie	Familia	Puntua.	Especie	Familia	Puntua.	Especie	Familia	Puntua.
..

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Registro de macroinvertebrados para índice biológico BMWP, época lluviosa, parte alta**

Semana 1			Semana 2			Semana 3			Semana 4			Semana 5		
Especie	Familia	Puntua.	Especie	Familia	Puntua.	Especie	Familia	Puntua.	Especie	Familia	Puntua.	Especie	Familia	Puntua.
..

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Registro de macroinvertebrados para índice biológico BMWP-CR, época lluviosa, parte baja**

Semana 1			Semana 2			Semana 3			Semana 4			Semana 5		
Especie	Familia	Puntua.	Especie	Familia	Puntua.	Especie	Familia	Puntua.	Especie	Familia	Puntua.	Especie	Familia	Puntua.
..

Fuente: elaboración propia.

3.7.2. **Procesamiento de la información**

A continuación se explica a detalle el modelo y la metodología aplicados para la determinación del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el índice biótico de macroinvertebrados (BMWP).

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

Con los resultados obtenidos luego del procesamiento y análisis de las muestras, procede el cálculo de índice simplificado de calidad del agua (ISQA), el cual se determina de la siguiente manera:

$$\text{ISQA} = T \cdot (A + B + C + D)$$

Donde:

- T: temperatura del agua (°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

- $B = 17 - (0,07 \cdot SST)$ si $250 \text{ mg/L} \geq SST > 100 \text{ mg/L}$
- $B = 0$ si $SST > 250 \text{ mg/L}$
- C: oxígeno disuelto (O_2 en mg/L). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:
 - $C = 2,5 \cdot O_2$ si $O_2 < 10 \text{ mg/L}$
 - $C = 25$ si $O_2 \geq 10 \text{ mg/L}$
- D: conductividad (CE en $\mu\text{S/cm}$ a $18 \text{ }^\circ\text{C}$). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 20 según:
 - $D = (3,6 - \log CE) \cdot 15,4$ si $CE \leq 4\,000 \mu\text{S/cm}$
 - $D = 0$ si $CE > 4\,000 \mu\text{S/cm}$

3.7.2.2. Método para la determinación del BMWP

- Los macroinvertebrados se separarán por especie y familia con la ayuda de una guía taxonómica.
- Luego de identificar los tipos de macroinvertebrados, se dará la puntuación según la tabla III.
- Se realizará un promedio entre los cinco datos de época lluviosa y los 5 datos de época seca y se determina el índice BMWP.
- Se determinará la calidad del agua de la microcuenca del río Pinula para época lluviosa y época seca en base al índice BMWP obtenido

3.8. Análisis estadístico

A continuación se describen las herramientas estadísticas utilizadas para el análisis de los 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.

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

Donde:

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

n = Tamaño de la muestra (5 muestreos)

Criterio:

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

- Sí $0,2 < r_s < 0,4$, es una correlación baja
- Sí $0,4 < r_s < 0,6$, es una correlación moderada
- Sí $0,6 < r_s < 0,8$ 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.

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

Donde:

X_i = dato correspondiente a una medición

N = número total de datos

4. RESULTADOS

4.1. Índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)

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

Tabla XII. Índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), Parte alta zona 13, época seca y época lluviosa

Época	Muestreo	Fecha	T	A	B	C	D	Isqa
Seca	1	01/03/2018	1,00	24,00	25,00	1,00	16,32	66,32
	2	08/03/2018	0,99	16,10	23,95	1,15	16,80	57,65
	3	15/03/2018	1,00	13,30	24,73	0,98	16,30	55,12
	4	22/03/2018	1,00	22,00	24,10	1,03	15,86	62,98
	5	05/04/2018	0,98	7,00	23,05	1,40	16,56	47,23
Regular								57,86
Lluviosa	Muestreo	Fecha	T	A	B	C	D	Isqa
	1	18/07/2018	0,96	15,05	22,75	0,59	16,05	52,38
	2	25/07/2018	0,95	12,95	23,95	0,44	16,25	50,88
	3	01/08/2018	0,98	12,25	23,95	0,83	16,54	52,31
	4	08/08/2018	0,98	24,00	24,70	0,71	16,83	65,01
5	14/08/2018	0,96	23,00	24,25	0,93	17,02	62,75	
Regular								56,66

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), parte baja zona 21, época seca y época lluviosa**

Época	Muestreo	Fecha	T	A	B	C	D	Isqa
Seca	1	01/03/2018	0,93	0,00	9,58	1,13	6,71	16,20
	2	08/03/2018	0,97	0,00	10,63	0,93	7,33	18,40
	3	15/03/2018	0,93	0,00	12,66	1,05	7,67	19,96
	4	22/03/2018	0,94	0,00	9,51	0,93	7,32	16,64
	5	05/04/2018	0,91	0,00	5,94	1,25	7,89	13,80
Pésima calidad								17,00
Lluviosa	Muestreo	Fecha	T	A	B	C	D	Isqa
	1	18/07/2018	0,89	0,00	0,00	0,68	7,79	7,51
	2	25/07/2018	0,88	0,00	5,80	0,72	8,17	12,94
	3	01/08/2018	0,95	0,00	0,00	0,76	9,52	9,76
	4	08/08/2018	0,93	0,00	5,87	0,74	7,85	13,49
	5	14/08/2018	0,89	0,00	0,00	0,78	9,75	9,42
Pésima calidad								10,62

Fuente: elaboración propia.

4.2. Índice biótico de macroinvertebrados BMWP

A continuación se muestran las tablas que resumen los de datos calculados del índice biótico de macroinvertebrados BMWP.

Tabla XIV. Índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte alta zona 13, época seca

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Coleoptera	Lutrochidae	7
	Mollusca	Physidae	3
	Diptera	Chironomidae	2
	Hemiptera	Veliidae	3
	Annelida	Hirudinea	3
	Total		18
2	Annelida	Hirudinea	3
	Diptera	Culicidae	2
	Diptera	Chironomidae	2
	Hemiptera	Veliidae	3
	Total		10
3	Annelida	Hirudinea	3
	Diptera	Chironomidae	2
	Coleoptera	Lutrochidae	7
	Hemiptera	Mesoveliidae	3
	Hemiptera	Veliidae	3
	Odonata	Calopterygidae	4
	Total		22
4	Odonata	Calopterygidae	4
	Coleoptera	Lutrochidae	7
	Diptera	Chironomidae	2
	Hemiptera	Veliidae	3
	Total		16
5	Odonata	Calopterygidae	4
	Annelida	Hirudinea	3
	Diptera	Chironomidae	2
	Total		9
		Muy crítica	15

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte baja zona
21, época seca

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Diptera	Syrphidae	1
	Diptera	Chironomidae	2
	Diptera	Dixidae	4
	Total		7
2	Diptera	Syrphidae	1
	Diptera	Chironomidae	2
	Diptera	Dixidae	4
	Total		7
3	Diptera	Chironomidae	2
	Diptera	Dixidae	4
	Diptera	Culicidae	2
	Total		8
4	Diptera	Syrphidae	1
	Diptera	Chironomidae	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Total		6
5	Diptera	Syrphidae	1
	Diptera	Chironomidae	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Total		6
Muy crítica			6,8

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte alta zona 13, época lluviosa**

	Orden	Familia	Puntuación
1	Annelida	Hirudinea	3
	Diptera	Chironomidae	2
	Mollusca	Physidae	3
	Diptera	Culicidae	2
	Total		10
2	Annelida	Hirudinea	3
	Diptera	Chironomidae	2
	Mollusca	Physidae	3
	Total		8
3	Diptera	Culicidae	2
	Diptera	Chironomidae	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Odonata	Calopterygidae	4
	Total		11
4	Diptera	Chironomidae	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Annelida	Hirudinea	3
	Total		8
5	Diptera	Culicidae	2
	Diptera	Chironomidae	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Total		7
Muy pobre			8,8

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte baja zona 21, época lluviosa**

Muestreo	Orden	Familia	Puntuación
1	Diptera	Culicidae	2
	Diptera	Chironomidae	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Total		7
2	Diptera	Culicidae	2
	Diptera	Chironomidae	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Total		7
3	Diptera	Chironomidae	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Annelida	Hirudinea	3
	Total		8
4	Diptera	Culicidae	2
	Diptera	Chironomidae	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Coleoptera	Hydrophilidae	3
	Total		10
5	Diptera	Culicidae	2
	Diptera	Chironomidae	2
	Diptera	Psychodidae	3
	Total		7
Muy pobre			7.8

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Índices de calidad del agua por época de muestreo y general**

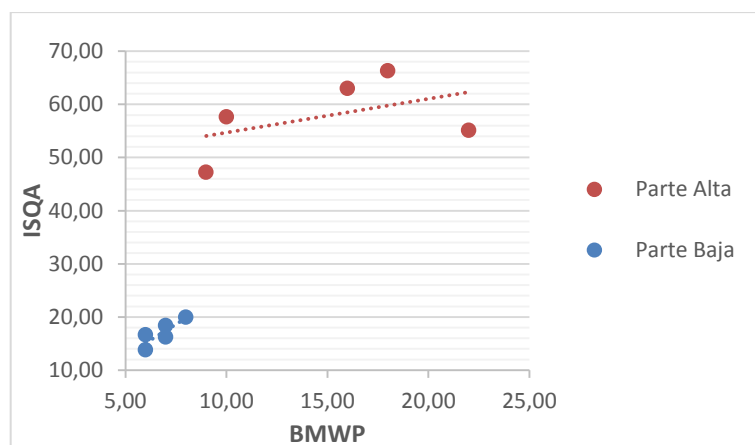
Época de muestreo	ISQA	BMWP
Seca	37,43	10,90
Lluviosa	33,64	8,30
GENERAL	35,53	9,6

Fuente: elaboración propia.

4.3. **Análisis de correlación entre el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el índice biótico de macroinvertebrados BMWP**

A continuación se muestra la correlación entre índice simplificado de calidad del agua (ISQA) e índice biótico BMWP.

Figura 2. **Correlación entre el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte alta y parte baja, correspondiente a la época seca**



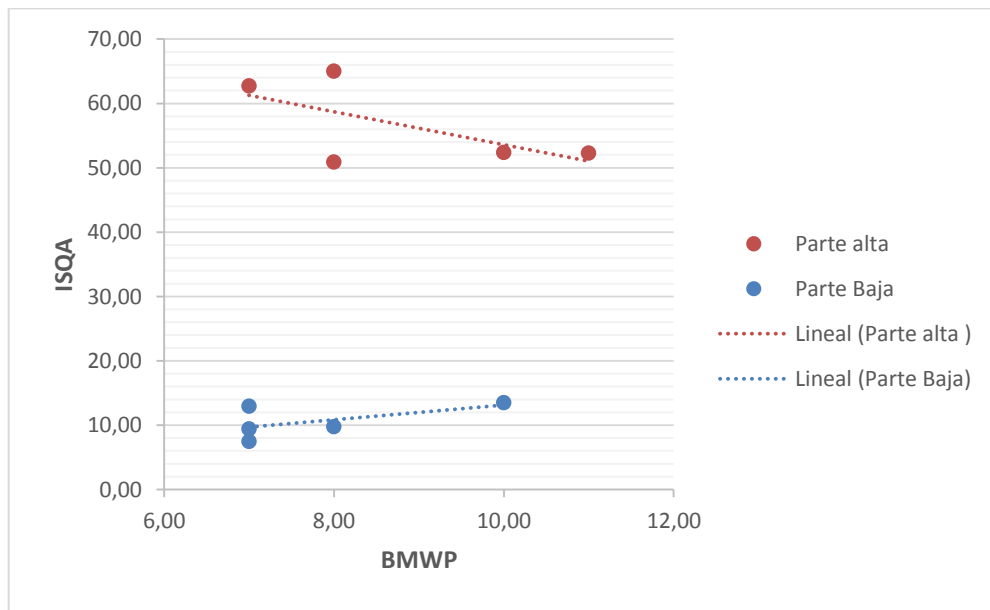
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Análisis de correlación por rangos de Spearman entre el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte alta y parte baja, correspondiente a la época seca**

Punto	BMWP	ISQA	Rango A	Rango B	di	di ²	
Parte Alta	18,00	66,32	4	5	-1	1	
	10,00	57,65	2	3	-1	1	
	22,00	55,12	5	2	3	9	
	16,00	62,98	3	4	-1	1	
	9,00	47,23	1	1	0	0	
	Sumatoria						12
	r ²						0.4
Parte Baja	BMWP	ISQA	Rango A	Rango B	di	di ²	
	7,00	16,20	3,50	2,00	1,50	2,25	
	7,00	18,40	3,50	4,00	-0,50	0,25	
	8,00	19,96	5,00	5,00	0,00	0	
	6,00	16,64	1,50	3,00	-1,50	2,25	
	6,00	13,80	1,50	1,00	0,50	0,25	
	Sumatoria						5
	r ²						0,75

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Correlación entre el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte alta y parte baja, correspondiente a la época lluviosa**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Análisis de correlación por rangos de Spearman entre el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el índice biótico de macroinvertebrados BMWP, parte alta y parte baja, correspondiente a la época seca**

Punto	BMWP	ISQA	Rango A	Rango B	di	di ²	
Parte alta	10,00	52,38	4	3	1	1	
	8,00	50,88	2,5	1	1,5	2,25	
	11,00	52,31	5	2	3	9	
	8,00	65,01	2,5	5	-2,5	6,25	
	7,00	62,75	1	4	-3	9	
	Sumatoria						27,5
	r ²						-0,37
Parte Baja	BMWP	Parte Baja	Rango A	Rango B	Di	di ²	
	7,00	7,51	1,50	1,00	0,50	0,25	
	7,00	12,94	1,50	4,00	-2,50	6,25	
	8,00	9,76	4,00	3,00	1,00	1,00	
	10,00	13,49	5,00	5,00	0,00	0,00	
	7,00	9,42	1,50	2,00	-0,50	0,25	
	Sumatoria						7,75
	r ²						0,61

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Influencia de la época estacional en el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y el índice biótico de macroinvertebrados BMWP, para la parte alta y la parte baja**

Punto	Índice	Época seca	Época lluviosa	
Parte alta	ISQA	57,86	56,,66	2,07 %
	BMWP	15,00	8,80	41,33 %
Parte baja	ISQA	17,00	10,62	37,53 %
	BMWP	6,80	7,80	14,70 %

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se llevaron a cabo 5 muestreos tanto en época seca (noviembre-abril) como en época lluviosa (mayo a octubre), en los dos puntos de muestreo representativos de la parte alta y baja del río Pinula en su paso por la Ciudad Capital. Se recolectaron diferentes especies de macroinvertebrados, que luego de ser caracterizados 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 simplificado de la calidad del agua (ISQA).

La tabla VI muestra los resultados obtenidos del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), para el punto de muestreo correspondiente a la parte alta del río Pinula ubicado en el parque recreativo XPark en zona 13. Se determinó que tanto en época seca como en época lluviosa, la calidad del agua en este punto es regular con un ISQA de 57,86 y 56,66 respectivamente; El agua posee un ligero color, espumas y ligera turbidez, no natural.

En la tabla VII están los resultados obtenidos del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), para el punto de muestreo correspondiente a la parte baja del río Pinula ubicado en zona 21, en época seca y en época lluviosa. Se determinó que en ambas épocas la calidad del agua en este punto es pésima, con un ISQA de 17,00 y 10,62, respectivamente. El agua posee alta turbidez, mal olor y color no natural.

El valor promedio de temperatura en la parte alta para época seca fue de 19,90°C; durante la época lluviosa las temperaturas aumentaron, aunque no drásticamente, con un valor de 22,69 °C. Para la parte baja en época seca presentó un valor promedio de 24,97 °C y durante la época lluviosa aumentó a 27,30 °C. El aumento de temperatura en la época lluviosa respecto a la 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 posee gran influencia en el valor del ISQA. La parte baja, tanto en época seca como en lluviosa, posee valores de A igual a 0, debido a la presencia de grandes cantidades de materia orgánica en dicho punto, lo cual constituye un grado de contaminación elevado y se ve reflejado en los valores de DQO 307,60 mg/L y 189,80 mg/L para las respectivas épocas. Por el contrario, para la parte alta se tienen valores de DQO 18 mg/L y 15,60 mg/L, lo que representa menor presencia de materia orgánica que degradar, dando lugar a mejores condiciones para la reproducción de animales y plantas.

Los sólidos en suspensión están relacionados con el parámetro B; a medida que este aumenta su valor, significa que existe menor cantidad de sólidos suspendidos. En la parte alta no hubo diferencia significativa en los valores de SST durante la época seca y la época lluviosa; aumentó de 5,56 mg/L a 7,20 mg/L. Sin embargo, en la parte baja hubo un aumento más drástico de 104,80 mg/L a 439,60 mg/L, lo que quiere decir que aumentó significativamente la turbidez del agua. Esto limita aún más los procesos de fotosíntesis que permiten la reproducción de plantas acuáticas, que a su vez sirven de hábitat y alimento para diversidad de seres vivos como los macroinvertebrados acuáticos.

El parámetro C se relaciona con el oxígeno disuelto. En época seca y en época lluviosa, en ambos puntos de muestreo, los valores son muy bajos, lo que indica poca cantidad de oxígeno disuelto. Esto involucra una excesiva cantidad de vida microbiana y organismos anaerobios, provenientes en su mayoría de aguas residuales con alto contenido de heces fecales. Está de más decir que es totalmente inadecuada para el consumo humano.

El parámetro D está ligado a la conductividad eléctrica; es decir, a los minerales disueltos en el agua. Aunque la variación de la concentración de sales varía muy poco de la época seca a la época lluviosa, sí podemos decir que en época seca, tanto en la parte alta como en la parte baja, aumenta la concentración de minerales, lo que se traduce a un aumento en la conductividad eléctrica. Se puede observar que a medida que aumenta la conductividad, el parámetro D tiende a cero, y este parámetro influye un 20 % en el valor del ISQA.

Los valores de BMWP para la época seca, basados en el conteo de macroinvertebrados encontrados tanto en la parte alta como en la parte baja del río Pinula, fueron de 15 y 6,8, respectivamente. Aunque se observa que la calidad del agua en la parte alta es mejor, ambos puntos se encuentran en el rango de calidad muy crítica, según la escala de BMWP-CR. Esto indica aguas altamente contaminadas, con alto contenido de materia orgánica, la mayoría proveniente de agua residuales domésticas. Se identificó 13 familias de macroinvertebrados, dentro de las cuales dominan las pertenecientes al orden Diptera. En el punto ubicado en zona 21 (parte baja) únicamente se localizaron macroinvertebrados del orden Diptera; este punto se encuentra sumamente contaminado, con abundancia de materia orgánica, sedimento, escasa vegetación y agua altamente turbia. Por otro lado, en el punto ubicado en zona 13, se encontró variedad de especies; el terreno poseía diversidad de

vegetación, agua más cristalina y debido a un mayor caudal, menor acumulación de sedimento.

Los valores de BMWP para la época lluviosa, basados en el conteo de macroinvertebrados encontrados tanto en la parte alta como en la parte baja del río Pinula, fueron de 8,8 y 7,8, respectivamente. Al igual que en época seca, se observa que en la parte alta la calidad del agua es mejor; sin embargo, ambos puntos se encuentran en el rango de calidad muy crítica. Se identificó 7 familias de macroinvertebrados, dentro de las cuales dominaron nuevamente las pertenecientes al orden Diptera, lo que reafirma el hecho de que se trata de aguas sumamente contaminadas.

Debido a la naturaleza de los datos, el procesamiento de los mismos para el análisis de correlación lineal del índice ISQA con el índice BMWP, se realizó determinando la correlación por rangos de *Spearman*. El coeficiente de correlación de *Spearman* es recomendable utilizarlo cuando los datos presentan valores extremos, ya que afectan en gran medida el coeficiente de correlación de Pearson, o ante distribuciones no normales. En la figura 1 y tabla XII se presenta el análisis de correlación para la época seca; la parte alta presenta una correlación positiva moderada ($r^2=0,4$); esto quiere decir que a medida que el índice BMWP aumenta, el índice ISQA también aumenta. La parte baja presenta una correlación positiva alta ($r^2=0,75$). Sugiere el mismo comportamiento que la parte alta; sin embargo, se ajusta mejor a un arreglo lineal. En ambos casos se puede decir que el índice BMWP responde a los cambios o perturbaciones en los parámetros fisicoquímicos involucrados en la determinación del índice ISQA.

En la figura 2 y tabla XIII se presenta el análisis de correlación para la época lluviosa. La parte alta presenta una correlación negativa baja ($r^2=-37$);

esto quiere decir 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 del mismo no afectan directamente la diversidad de la biota, en este punto. La parte baja presenta una correlación positiva moderada ($r^2=0,61$) por lo que se puede decir que el índice BMWP en dicho punto no responde de forma significativa a los cambios o perturbaciones en los parámetros físico-químicos involucrados en la determinación del índice ISQA; en otras palabras, la diversidad de macroinvertebrados no se ve afectada significativamente por las condiciones fisicoquímicas del agua.

Se analizó la influencia que tienen las épocas estacionales en la calidad del agua, por medio de porcentajes de mejora o deterioro de la misma. En la tabla XV se muestran los resultados; la parte alta, según el índice ISQA, presenta un deterioro de la calidad del agua de 2,07 % en la época lluviosa respecto a la época seca. El BMWP presenta un deterioro de la calidad del agua de 41,33 % en la época lluviosa respecto a la época seca. Se espera que en época lluviosa mejore la calidad del agua; sin embargo, en este caso se obtuvo lo contrario, y puede atribuirse a que cuando se inició con los muestreos para dicha época, el invierno del año 2018 aún no estaba totalmente establecido, aunado a que no fue tan copioso en la Ciudad Capital como en años anteriores y hubo temperaturas considerablemente altas en dicha época.

En la parte alta pudo notarse también un aumento del caudal, lo que afecta directamente a las especies de macroinvertebrados, ya que existe mayor arrastre de materiales y sedimentos que destruyen su hábitat y no les permite a muchas especies reproducirse adecuadamente.

La parte baja, según el índice ISQA, presenta un deterioro de la calidad del agua de 37,53 % en la época lluviosa respecto a la época seca. El BMWP presenta una mejora de la calidad del agua de 14,70 % en la época lluviosa respecto a la época seca. En la parte baja se debe tomar en cuenta que muchas industrias aumentan su producción en el segundo semestre del año, por lo que aumentan las descargas contaminantes que a través del río Guadrón (río de aguas residuales), llegan al río Pinula justo antes del punto de muestreo en la parte baja (zona 21). En este punto, el BMWP presenta mejora; sin embargo, sigue siendo pésima la calidad del agua en este punto.

CONCLUSIONES

1. En el punto de muestreo correspondiente a la parte alta del río Pinula, tanto en época seca y en época lluviosa, la calidad del agua es regular con un ISQA de 57,86 y 56,66, respectivamente. Para el punto de muestreo correspondiente a la parte baja del río Pinula, se determinó que en ambas épocas la calidad del agua en este punto es pésima, con un ISQA de 17,00 y 10,62, respectivamente.
2. Los valores de BMWP para la época seca, basados en el conteo de macroinvertebrados encontrados tanto en la parte alta como en la parte baja del río Pinula, fueron de 15 y 6,8, respectivamente. Ambos puntos se encuentran en el rango de calidad muy crítica, lo que indica aguas altamente contaminadas. Para la época lluviosa, los valores de BMWP fueron de 8,8 y 7,8 para la parte alta y baja, respectivamente; ambos puntos se encuentran en el rango de calidad muy crítica.
3. La parte alta, según el índice ISQA, presenta un deterioro de la calidad del agua de 2,07 % en la época lluviosa respecto a la época seca. Según el índice BMWP, presenta un deterioro de la calidad del agua de 41,33 % en la época lluviosa respecto a la época seca. La parte baja presenta un deterioro de la calidad del agua de 37,53 % en la época lluviosa respecto a la época seca. Al comparar el índice ISQA y el índice BMWP presenta una mejora de la calidad del agua de 14,70 % en la época lluviosa respecto a la época seca.

4. En época seca, la parte alta presenta una correlación positiva moderada con un coeficiente de Spearman de 0,4, y la parte baja presenta una correlación positiva buena con un $r^2=0,75$. Para la época lluviosa, la parte alta presenta una correlación negativa baja con un coeficiente con un $r^2=-37$ y la parte baja presenta una correlación positiva moderada con un $r^2=0,61$. Queda manifiesto que sí existe correlación lineal entre el índice simplificado de calidad de agua (ISQA) y el índice biológico BMWP, en diferentes grados de dependencia.

RECOMENDACIONES

1. Realizar los muestreos de época lluviosa, cuando el invierno esté totalmente establecido, para asegurar que los resultados obtenidos reflejan las condiciones de dicha época y que realmente se observen los cambios generados por la misma en los diferentes hábitats y regiones del río por muestrear.
2. Analizar un mayor tramo de río, con el fin de obtener resultados del comportamiento de la calidad del agua a medida que se prolonga el cuerpo de agua. Así, poder definir con mayor certeza las causas de contaminación y poder tomar medidas de acción con un impacto más acertado.
3. Aumentar el número de muestreos por realizar para obtener resultados con mayor representatividad de cada estación climática, ya que como sucedió en el presente estudio, la época lluviosa no estaba totalmente establecida y es probable que se presentaran cambios mayores en los meses posteriores al muestreo.

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. 25 p.
2. 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.
3. DAZA, María. *Bioindicación de la calidad del agua del río Subashoque mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos con una integración espacial y temporal*. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016. 27 p.
4. INSIVUMEH. *Ríos de Guatemala*. [en línea]. <<http://www.insivumeh.gob.gt/riosdeguatemala.html>>. [Consulta: 3 de marzo de 2019].
5. MAFLA, Maribel. *Guía para Evaluaciones Ecológicas Rápidas con Indicadores Biológicos en Ríos de Tamaño Mediano Talamanca - Costa Rica*. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 2005. 79 p.

6. MANZO, Daniel. *Reconocimiento hidrogeológico para la determinación de zonas de recarga hídrica en subcuenca del río Pinula, jurisdicción de San Catarina Pinula, Guatemala*. Trabajo de graduación de Agronomía en Recursos Renovables. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 138 p.
7. MÉNDEZ, Silvia. *Determinación de la influencia de las características fisicoquímicas medidas a través del índice simplificado de la 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. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. 163 p.
8. ORDOÑEZ, Juan. *¿Qué es una cuenca Hidrológica? Foro peruano para el agua*. [en línea]. <http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf>. [Consulta: 7 de junio de 2019].
9. REYES, Fátima y SPRINGER, Mónica. *Efecto del esfuerzo de muestreo en la riqueza de táxones de macroinvertebrados acuáticos y el índice BMWP/Atitlán*. [en línea]. <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44932430019>>. [Consulta: 5 de marzo de 2019].
10. SAMBONI, Natalia. *Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua Ingeniería e Investigación. Revista Ingeniería e Investigación*. [en línea].

<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64327320>>. [Consulta: 5 de marzo de 2019].

11. ROLANDO, Wer. *Caracterización de la calidad fisicoquímica y microbiológica del río Morazán; Morazán, El Progreso*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2014. 89 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Árbol de problema**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Requisitos académicos**

Carrera	Campos de Conocimiento	Área	Curso	Tema Especifico	Temática a resolver
Ingeniería Química	Ingeniería y Tecnología	Química	*Análisis Cualitativo	pH	Manejo de distintos parámetros físicos, químicos y biológicos. Interpretación de análisis.
			*Análisis Cuantitativo	Solubilidad	
		*Análisis Instrumental	Valoración de métodos		
		*Química Ambiental	Impacto Ambiental		
		Área de Especialización	*Microbiología	Tipos de Bacterias	Métodos de determinación de presencia de microorganismos y medios de reproducción.
			Área de Ciencias Básicas y Complementarias	*Mate básica 1	Ecuaciones algebraicas. Graficas Polinomiales
*Estadística 1	*Estadística Descriptiva *Variables Aleatorias			Proporcionar elementos matemáticos que expliquen fenómenos.	
	*Calidad del Agua	*Índices de Calidad de agua. *Métodos de preservación. *Plan de Monitoreo de Ambiental.	Aplicación de metodología e interpretación de datos sobre la calidad del agua. Puntos de muestreo y captación de los mismos.		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Puntos de muestreo en la microcuenca del Río Pinula**

Figura A. **Toma de muestra y medición de parámetros *in situ* en la parte alta (zona 13), de la microcuenca del Río Pinula**



Fuente: elaboración propia.

Figura B. **Toma de muestra y medición de parámetros *in situ* en la parte baja (zona 21), de la microcuenca del Río Pinula**



Fuente: elaboración propia.

