



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

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO MOLINO, UBICADO EN LA ZONA 11
CIUDAD DE GUATEMALA, MEDIANTE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DE AGUA
(ISQA) Y EL ÍNDICE BIÓTICO BMWP**

Glenda Yesenia Isidro Sebastian

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, mayo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO MOLINO, UBICADO EN LA ZONA 11
CIUDAD DE GUATEMALA, MEDIANTE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DE AGUA
(ISQA) Y EL ÍNDICE BIÓTICO BMWP**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

GLENDA YESENIA ISIDRO SEBASTIAN

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MAYO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
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. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. William Eduardo Fagiani Cruz
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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 DEL RÍO MOLINO, UBICADO EN LA ZONA 11
CIUDAD DE GUATEMALA, MEDIANTE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DE AGUA
(ISQA) Y EL ÍNDICE BIÓTICO BMWP**

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

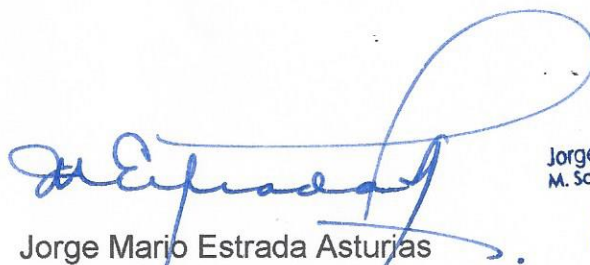
Glenda Yesenia Isidro Sebastian

Guatemala, 5 de febrero de 2019

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado satisfactoriamente el informe final del trabajo de graduación de la estudiante de Ingeniería Química **Glenda Yesenia Isidro Sebastian** con número de CUI **2847 15808 0101** y registro estudiantil **201314672** titulado "Evaluación de la calidad del agua del río Molino, ubicado en la zona 11 ciudad de Guatemala, mediante el índice simplificado de calidad de agua (ISQA) y el índice biótico BMWP".

Sin otro particular, me suscribo a usted



Jorge Mario Estrada Asturias
Asesor de Investigación
Colegiado No. 685

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



Guatemala, 21 de marzo de 2019.
Ref. EIQ.TG-IF.016.2019.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **058-2017** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Seminario de Investigación-

Solicitado por la estudiante universitaria: **Glenda Yesenia Isidro Sebastian**.
Identificada con número de carné: **2847 15808 0101**.
Identificada con registro académico: **2013-14672**.
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

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 DEL RÍO MOLINO, UBICADO EN LA ZONA 11 CIUDAD DE GUATEMALA, MEDIANTE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DE AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE BIÓTICO BMWP

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jorge Mario Estrada Asturias**.

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



"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

[Handwritten Signature]
Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.034.2019

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 estudiante, **GLENDA YESENIA ISIDRO SEBASTIAN** titulado: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO MOLINO, UBICADO EN LA ZONA 11 CIUDAD DE GUATEMALA, MEDIANTE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DE AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE BIÓTICO BMWP”**. 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. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, mayo 2019

Cc: Archivo
CSWD/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala

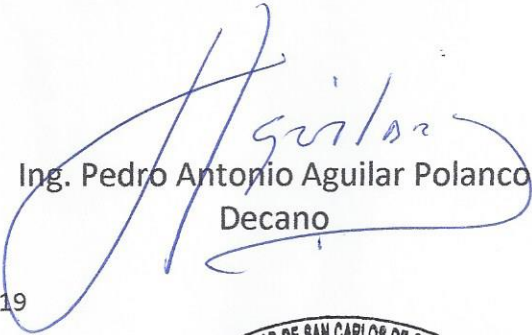


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 230.2019

El Decano 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 DEL RÍO MOLINO, UBICADO EN LA ZONA 11 CIUDAD DE GUATEMALA, MEDIANTE EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DE AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE BIÓTICO BMWP**, presentado la estudiante universitaria: **Glenda Yesenia Isidro Sebastian**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2019

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme sabiduría, amor y fuerza para alcanzar este logro en mi vida.
Mis padres	Rocael Isidro y Rocxana Sebastian, por su amor y apoyo incondicional.
Mis hermanos	Rocael Isidro y Astrid Isidro, por sus consejos, apoyo y amor incondicional.
Mis sobrinas	Samantha Aquino, Sofia Aquino y Estefany Aquino, por llenar de alegría mi vida con el deseo de que les sirva de inspiración en su vida.
Mi familia	Por su apoyo y formar parte importante de mi vida.
Mis amigos	Por forma parte de este logro, ser influencia positiva en mi vida y por los buenos momentos compartidos.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi <i>alma mater</i> , donde se formaron mis conocimientos para mi vida profesional.
Facultad de Ingeniería	Especialmente a la Escuela de Ingeniería Química, por darme las herramientas y conocimientos para mi vida profesional.
Mis padres	Por formarme como persona, por el amor y el apoyo incondicional que siempre me brindan.
Mi asesor	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias, por ayudarme en esta investigación y compartir sus conocimientos.
Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala	Por gestionar la parte experimental de mi trabajo de graduación y apoyo en la elaboración del mismo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
OBJETIVOS.....	XI
HIPÓTESIS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Contaminación del agua	5
2.1.1. Origen de la contaminación del agua	6
2.1.2. Contaminación de origen natural.....	6
2.1.3. Contaminación de origen antropogénica.....	6
2.1.4. Sustancias que contaminan el agua.....	7
2.2. Monitoreo del agua	9
2.3. Calidad del agua	10
2.3.1. Parámetros físicos	10
2.3.2. Parámetros químicos.....	11
2.3.3. Parámetros biológicos	12
2.4. Índices de calidad del agua	13
2.5. Índice simplificado de calidad del agua (ISQA)	14
2.5.1. Interpretación del índice ISQA.....	15
2.6. Índice biótico BMWP (<i>biological monitoring working party</i>).....	15

2.6.1.	Índice biótico BMWP-CR	16
3.	METODOLOGÍA	21
3.1.	Variables	21
3.1.1.	Variables Independientes	21
3.1.2.	Variables dependientes	21
3.2.	Delimitación de campo de estudio.....	22
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	22
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	22
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	24
3.6.	Procedimiento de muestreo.....	24
3.6.1.	Toma de muestras.....	24
3.6.2.	Análisis fisicoquímicos.....	25
3.6.3.	Análisis de macroinvertebrados	26
3.7.	Recolección y ordenamiento de la información.....	26
3.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	27
3.9.	Análisis estadístico	33
3.9.1.	Media muestral	33
3.10.	Plan de análisis de los resultados para el cálculo de ISQA	33
4.	RESULTADOS.....	37
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	45
	CONCLUSIONES.....	49
	RECOMENDACIONES	51
	BIBLIOGRAFÍA.....	53
	APÉNDICES	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Correlación entre los índices ISQA y BMWP para la época seca..... 41
2. Correlación entre los índices ISQA y BMWP para la época lluviosa 42

TABLAS

- I. Clasificación de la calidad del agua según el ISQA 15
- II. Lista de macroinvertebrados para el índice BMWP-CR..... 17
- III. Clasificación de calidad del agua según índice BMWP 20
- IV. Ubicación de los puntos de muestreo 27
- V. Datos para el cálculo del índice ISQA en la época seca del río Molino..... 27
- VI. Datos para el cálculo del índice ISQA en la época lluviosa del río Molino..... 28
- VII. Cálculo del índice BMWP en la época seca para la parte alta del río Molino..... 29
- VIII. Cálculo del índice BMWP en la época seca para la parte baja del río Molino 30
- IX. Cálculo del índice BMWP en la época lluviosa para la parte alta del río Molino 31
- X. Cálculo del índice BMWP en la época lluviosa para la parte baja del río Molino 32
- XI. Calidad del agua del río Molino por medio del índice ISQA para la época seca..... 37

XII.	Calidad del agua del río Molino por medio del índice ISQA para la época lluviosa	38
XIII.	Calidad del agua del río Molino por medio del índice BMWP para la época seca.....	39
XIV.	Calidad del agua del río Molino por medio del índice BMWP para la época lluviosa	40
XV.	Ecuación y coeficiente de correlación de la figura 1	41
XVI.	Ecuación y coeficiente de correlación de la figura 2	42
XVII.	Influencia estacional sobre la calidad del agua del río Molino por medio del índice ISQA.....	43
XVIII.	Influencia estacional sobre la calidad del agua del río Molino por medio del índice BMWP	43

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CE	Conductividad eléctrica
R	Coefficiente de correlación
DQO	Demanda química de oxígeno
°C	Grado centígrado
μS/cm	Microsiemens sobre centímetro
Mg/L	Miligramos sobre litro
OD	Oxígeno disuelto
SST	Sólidos suspendidos totales
T	Temperatura

GLOSARIO

Antropogénica	Efectos producidos por las actividades del hombre sobre el medio ambiente.
Afluente	Cualquier cuerpo de agua cuya desembocadura no ocurra en el mar, sino en otro río superior.
Aguas crudas	Aguas que no han sido tratadas previamente, aguas procedentes de uso doméstico e industrial.
Bioindicador	Organismos o comunidades en los que su existencia, sus características estructurales, su funcionamiento y sus reacciones dependen del medio en que se desarrollan.
Biota	Conjunto de especies de animales, plantas y otros organismos que ocupan un área dada.
BMWP	<i>Biological monitoring working party</i> . Índice biológico de calidad del agua dado de la puntuación de macroinvertebrados acuáticos.
Cuerpo hídrico	Deposito natural donde se acopia agua, como ríos, lagos, riachuelos, etc.

ISQA	Índice simplificado de calidad del agua, se basa en cinco parámetros fisicoquímicos tomados de un cuerpo de agua que determina la calidad del agua.
Macroinvertebrados	Animales invertebrados que se pueden observar sin necesidad de microscopio. Están incluidos insectos, moluscos y anélidos.
Monitoreo	Observación del curso de uno o más parámetros para detectar eventuales cambios.
Taxón	Grupo de organismos emparentados que han sido agrupados debido a sus similitudes físicas o genéticas.

RESUMEN

El aumento de la contaminación del agua en la ciudad de Guatemala ha dado como resultado la búsqueda de herramientas para el conocimiento de la situación de los recursos hídricos de la ciudad de Guatemala. Dentro de los planes de acción del cinturón ecológico metropolitano de la ciudad de Guatemala dirigido por la municipalidad de Guatemala, se monitorean las diferentes microcuencas de la ciudad de Guatemala.

En el presente trabajo se realizó el monitoreo del río Molino ubicado en la zona 11 de la ciudad de Guatemala, cuyo objetivo fue evaluar la calidad del agua mediante el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) y el índice biótico BMWP. El estudio se realizó en dos puntos de muestreos ubicados en la parte alta y baja del río tanto en época seca como en época lluviosa.

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

Por medio de un análisis estadístico se determinó que no existe correlación lineal entre los parámetros fisicoquímicos del índice ISQA sobre la carga biótica de macroinvertebrados del índice BMWP. Al cambiar de época seca a época lluviosa la calidad del agua mejoró de pésima a mala por medio del índice fisicoquímico ISQA.

OBJETIVOS

General

Evaluar la calidad del agua del río Molino, ubicado en la zona 11 ciudad de Guatemala, mediante el índice simplificado de calidad de agua (ISQA) y el índice biótico BMWP, 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 calidad del agua (ISQA), en la parte alta y baja del río, para evaluar la calidad del agua del río Molino en época seca y época lluviosa.
2. Determinar el índice biótico BMWP (*biological monitoring working party*), en la parte alta y baja del río, para evaluar la calidad del agua del río Molino en época seca y época lluviosa.
3. Comparar los resultados de calidad del agua obtenidos por el índice ISQA y el índice BMWP, para determinar si existe correlación lineal entre ambos índices.
4. Comparar el comportamiento de los índices ISQA y BMWP, en época seca y época lluviosa, para establecer si existe influencia estacional en la calidad del agua del río Molino.

HIPÓTESIS

Hipótesis de trabajo

Existe influencia de los parámetros fisicoquímicos del índice simplificado de calidad de agua (ISQA) sobre la carga biótica de macroinvertebrados expresada como el índice biótico BMWP, en el río Molino.

Hipótesis estadísticas

- Hipótesis nula

No existe correlación directamente proporcional entre el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) y el índice biótico BMWP en función de la época estacional para el río Molino.

- Hipótesis alternativa

Sí existe correlación directamente proporcional entre el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) y el índice biótico BMWP en función de la época estacional para el río Molino.

INTRODUCCIÓN

El río Molino ubicado en la zona 11 de la ciudad de Guatemala forma parte del cinturón ecológico metropolitano de la ciudad de Guatemala. Es un corto río que nace al norte del municipio de Mixco, de la unión de los ríos Panchocá y Pansalic. La corriente del río Molino se encuentra localizada entre los municipios de Mixco, Guatemala y Villa Nueva. Recibe numerosas corrientes; entre los afluentes está el río Mariscal en el fondo del barranco. Continúa su trayecto, y en el caserío Villalobos se une con el río San Lucas.

Por su cercanía con los tanques de purificación de agua y el impacto recibido por la actividad antropogénica, existe la necesidad de monitorear y establecer condiciones ambientales para determinar el grado de contaminación del río.

Por lo que la combinación de las metodologías del índice biótico BMWP y el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) servirá para evaluar la calidad del agua, y con estos datos será posible conocer su estado y tomar acciones de carácter correctivo para la protección del río Molino.

1. ANTECEDENTES

El estudio de la calidad del agua se ha realizado desde hace años, para determinar la contaminación de los recursos hídrico en cualquier campo de agua; en la actualidad, se realiza por medio de índices de calidad del agua. En los últimos años se han desarrollado más de 30 índices de calidad del agua.

En Latinoamérica se han realizado estudios acerca de la calidad del agua en los ríos, por ejemplo, en el año 2009 Adriana Forero, Gladys Reinoso y Claudia Gutiérrez en la universidad de Tolima, Colombia, realizaron el estudio de investigación *Evaluación de la calidad del agua del río Opia mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos*. En el estudio se evaluó la calidad del agua por medio de macroinvertebrados acuáticos y 14 parámetros fisicoquímicos con lo que se registró una calidad regular del agua y se observó que la perturbación del ecosistema afectó la calidad del agua.

En el año 2004 los investigadores Rivera, N.R.; Encina, F.; Muñoz-Pedrerros, A. y Mejías, P., en la Universidad Católica de Temuco, Chile, publicaron un artículo científico en la revista Información tecnológica acerca de *La calidad de las aguas en los ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile, por medio de parámetros fisicoquímicos y análisis microbiológico*. Se obtuvo como resultado una buena calidad del agua por medio de los parámetros fisicoquímicos conforme a las normas chilenas; mientras que el análisis microbiológico detectó una gran cantidad de bacterias las cuales afectan la salud con el contacto directo del agua, por lo que no es recomendable para el uso y consumo humano.

En Guatemala se han realizado estudios sobre los escenarios ambientales en cuanto a las condiciones de calidad de agua en cuerpos lénticos y lóxicos. En el año 2016 Angel Oseas Ajcabul Raxhón en la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó su estudio de graduación acerca de la *Comparación de los índices de calidad de agua ISQA con el índice de calidad del agua ICA, aplicados a las aguas superficiales del río la Quebrada, el Frutal*. Con lo que se determinó una metodología para el cálculo de los parámetros fisicoquímicos en los ríos de Guatemala.

En el año 2016, Odalis Ivette López Salazar en la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó su estudio de graduación acerca de la *Determinación de la calidad ambiental del agua, mediante índices Bióticos y fisicoquímicos en la microcuenca del río Agua Tibia, zona 24*. Como resultado se obtuvo una mala calidad del agua por medio del índice biótico BMWP tanto en época seca como lluviosa, mientras que el índice ISQA obtuvo una calidad regular del agua para época seca y una buena calidad del agua para época lluviosa.

En el año 2015, Silvia Alejandra Méndez Spiegelger en la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó su estudio de graduación acerca de la *Determinación de la influencia de las características fisicoquímicas medidas a través del índice simplificado de calidad del agua (ISQA), sobre la biota medida a través del índice biótico BMWP en la microcuenca del río Contreras del municipio de Guatemala*. Por medio del índice ISQA en la época seca se obtuvo una mala calidad del agua para la parte alta y media del río; mientras que la parte baja obtuvo una calidad regular del agua y en la época lluviosa se obtuvo una calidad regular del agua para los tres puntos de muestreo.

El índice biológico BMWP (*biological monitoring working party*) es un índice biótico de calidad del agua el cual utiliza macroinvertebrados bentónicos (que viven en los bentos o lechos de los ríos) de 110 familias taxonómicas, con diferentes tolerancias a los contaminantes; la ausencia de algunos, en consecuencia, dará resultados de la calidad del agua.

En Centroamérica, se han desarrollado diversas adaptaciones del método: en El Salvador (IBF 20120-SV) y Costa Rica (BMWP-CR); de los cuales el último, ha sido adaptado formalmente mediante el *Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales*. (La Gaceta No. 178, Decreto No.33903 MINAE-S).

En el año 2013 Esteban Stuardo Acuña Campos en la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó su estudio de graduación acerca de la *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*. El grado de contaminación obtenida por el índice BMWP fue regular para la parte alta y media del río y mala calidad para la parte baja tanto en época seca como lluviosa.

En Guatemala, en el año 2008 el Ing. Jorge Leonel Rivera Méndez en la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó un estudio acerca de la *Determinación de los índices de calidad y coeficientes cinéticos de auto depuración del agua, en la parte alta de la cuenca del río Naranjo, ubicada en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango*, se determinó mala calidad del agua para la parte alta del río por lo que no es recomendada para el uso humano.

2. MARCO TEÓRICO

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

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

2.1. Contaminación del agua

“La contaminación del agua es la acumulación de uno o más sustancias al punto que causa daños a la vida alrededor y dentro del agua.”¹ La contaminación afecta directamente a su composición y características, es afectada por factores biológicos, químicos y físicos. Estos factores se dan en su mayoría debido a que los ríos y las aguas superficiales han sido utilizado para recibir todo tipo de residuos domésticos, industriales, actividades agrícolas y ganaderas.

¹ CAMPOS GÓMEZ, Irene. *Saneamiento ambiental*. 248 p.

2.1.1. Origen de la contaminación del agua

“La contaminación del agua procede de dos formas natural o de forma antropogénica (actividad del hombre), siendo esta la que más preocupa.”² La industrialización y el desarrollo utiliza más agua y genera más desechos que la mayoría van a dar a ríos y aguas superficiales, lo que causa su contaminación.

2.1.2. Contaminación de origen natural

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

2.1.3. Contaminación de origen antropogénica

El resultado de la actividad humana que genera sustancias ajenas a la composición natural del agua. “El origen de la contaminación antropogénica está ligada a estas cuatro actividades del hombre”³:

- Urbanas: la contaminación debido a las actividades urbanas es consecuencia de la inadecuada eliminación y ubicación de residuos, junto a las aguas residuales provenientes del uso doméstico (limpieza, cocina y sanitarios).
- Agrícolas: la contaminación del agua por la actividad agrícola es debida

² LÓPEZ SALAZAR, Odalis Ivette. *Determinación de la calidad ambiental del agua, mediante índices bióticos y fisicoquímicos en la microcuenca del río Agua Tibia, zona 24*. 140 p.

³ Junta de Andalucía. Proceso de contaminación del agua. [en línea] https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/salud_5af065353fcf6_contaminacion_nitratos.pdf [Consulta: octubre de 2017].

a la utilización de fertilizantes y biocidas en exceso, así como la presencia de otros residuos agrícolas.

- Ganaderas: La contaminación de aguas por explotaciones ganaderas es debida a compuestos orgánicos y biológicos procedentes de residuos de instalaciones ganaderas y purines de animales estabulados.
- Industriales: es la contaminación más diversa y compleja. En muchos casos la más difícil de eliminar.

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

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

2.1.4. Sustancias que contaminan el agua

“Hay una gran cantidad de sustancias que contaminan el agua, por lo que

es difícil conocer todos; para facilitar la clasificación se divide en siete grupos”⁴
los cuales son:

- Agentes patógenos: son entidades biológicas (bacterias, virus parásitos u otro organismo) que pueda causar daño al ser humano, animal o vegetal. Para el agua, es proveniente de los desechos orgánicos en ríos, lagos y aguas superficiales.
- Compuestos químicos orgánicos: son las sustancias químicas que contienen carbono y han sido fabricadas por el hombre, como el petróleo, gasolina, envases plásticos, entre otros.
- Desechos orgánicos: son el conjunto de residuos orgánicos (aceites, grasas, proteínas, entre otros) producidos por los seres humanos o animales. Incluyen las heces y desechos de comida. Cuando este tipo de desechos se encuentran en el agua en altas cantidades, generan que la proliferación de bacterias necesarias para su degradación sea mayor y, por lo tanto, consuman más oxígeno del debido, que causa la muerte de las especies.
- Sustancias químicas inorgánicas: se trata de ácidos, bases y metales tóxicos, grandes cantidades en el agua puede destruir el ecosistema acuático, reduciendo biodiversidad. Proviene de los vertidos domésticos, agrícolas e industriales, que pueden contener distintos compuestos químicos.

⁴ Soluciones Medioambientales y Aguas, S.A. *Sustancias contaminantes y sus efectos en la calidad del agua*. <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/sustancias-contaminantes-y-sus-efectos-en-la-calidad-del-agua>. [Consulta: octubre de 2017].

- Nutrientes vegetales inorgánicos (nitrógeno y fósforo): el exceso de estos nutrientes puede causar el aumento de las plantas acuáticas, lo que provoca la disminución de oxígeno para el ecosistema acuático.
- Sustancias radioactivas: isótopos radioactivos solubles que pueden estar presentes en el agua, derivados de la energía nuclear y de la actividad de centrales termonucleares, y que son perjudiciales para la salud del hombre y de los seres vivos.
- Contaminación térmica: se produce cuando aumenta la temperatura de los ríos, lagos y aguas superficiales, debido a la liberación de agua caliente proveniente de centrales energía o de actividades industriales.

2.2. Monitoreo del agua

“El monitoreo de un río consiste en determinar los cambios ocurridos en el agua, la biota y la tierra que lo rodea. Es un procedimiento basado en la observación y estudio del ecosistema, con el fin de descubrir los daños causados al río y establecer el tratamiento necesario para restaurarlo.”⁵ Como cualquier estudio, es necesario tomar varios datos en diferentes puntos del mismo río, para conocer y comparar la calidad del agua río arriba y río abajo.

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

- Monitoreo por bioindicación: para este tipo de análisis se utilizan bioindicadores, que son organismos puntuales y selectos de estrés

⁵ MÉNDEZ SPIEGELER, Silvia Alejandra. *Determinación de la influencia de las características fisicoquímicas medidas a través del índice simplificado de calidad del agua (ISQA), sobre la biota medida a través del índice biótico BMWP en la microcuenca del río Contreras del municipio de Guatemala.* 163 p.

ambiental que pueden evaluar y predecir los efectos de las modificaciones ambientales.

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

2.3. Calidad del agua

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

La calidad del agua se puede expresar de manera cualitativa (observando el estado del agua) o cuantitativa (por medio de pruebas y ensayos de laboratorio) para determinar la calidad del agua se utilizan parámetros físicos, químicos y biológicos, que en conjunto forman los índices de calidad del agua.

2.3.1. Parámetros físicos

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

- Sólidos suspendidos: se refiere a las partículas orgánica e inorgánicas, así

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

como líquidos inmiscibles que se encuentran en el agua. La cual afecta el crecimiento de la vegetación acuática debido a la turbidez que se origina y dificulta el paso de la luz.

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

2.3.2. Parámetros químicos

“Se relacionan con la capacidad de solvencia del agua, por lo que no se determina con parámetros físicos” ⁷, por lo que se necesita la ayuda de un laboratorio para la realización de pruebas específicas con lo que se determinarán los parámetros químicos. Entre los que están:

⁷ CAMPOS GÓMEZ, Irene. *Saneamiento ambiental*. 248 p.

- Sólidos disueltos: son los materiales que permanecen en el agua luego de esta ser filtrada.
- Alcalinidad: es una medida de la cantidad de iones presentes en el agua, los cuales reaccionan para neutralizar los iones de hidrógeno.
- Dureza: representa la concentración de cationes metálicos multivalentes en la solución. En condiciones de saturación, los cationes reaccionan con los aniones del agua para formar un sólido.
- Metales: son elementos que se encuentran en el agua, los cuales se clasifican, según su efecto sobre el ser humano, en tóxicos y no tóxicos.
- Sustancias orgánicas: se clasifican según la degradación, biodegradables o no biodegradables. El parámetro más importante es la demanda química de oxígeno (DQO), el cual mide la cantidad de oxígeno que requieren los elementos orgánicos para ser biodegradables.
- Nutrientes: los dos nutrientes más importantes en la calidad del agua son el nitrógeno y el fósforo. El nitrógeno en exceso produce la eutrofización el crecimiento de algas y plantas verdes. El fósforo también afecta a la eutrofización y se encuentra presente en el agua como fosfatos.

2.3.3. Parámetros biológicos

Todos los seres vivos del agua son, de alguna manera, indicadores de calidad del agua, ya sea por su presencia o ausencia. Se han desarrollado índices biológicos en donde la presencia de cierta biota o especies determinan la calidad del agua. Tradicionalmente se utilizan indicadores patógenos los

cuales causan enfermedades o las transmiten. Muchos de estos organismos provienen de las heces fecales.

2.4. Índices de calidad del agua

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

- Simplifican y resumen datos complejos.
- Se componen 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.

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

⁸ MÉNDEZ SPIEGELER, Silvia Alejandra. *Determinación de la influencia de las características fisicoquímicas medidas a través del índice simplificado de calidad del agua (ISQA), sobre la biota medida a través del índice biótico BMWP en la microcuenca del río Contreras del municipio de Guatemala.* 163 p.

2.5. Índice simplificado de calidad del agua (ISQA)

Es un índice que surge en España en 1982 para las cuencas de Cataluña que se basa en 5 parámetros fisicoquímicos planteado para el uso de 6 casos específicos, dentro de los cuales destaca el uso para consumo humano.

“Este índice permite asignar un valor a la calidad del agua, utilizando un número limitado de parámetros. Tiene la ventaja de ser fácil y presentar una idea rápida e intuitiva de la calidad y para tener una visión más amplia se necesita de otros índices de calidad.”⁹ Los parámetros estudiados por este índice son:

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

⁹ ROS MORENO, Antonio. *Índice simplificado de calidad de aguas (ISQA)*. <http://www.mailxmail.com/curso-agua-calidad-contaminacion-2-2/indice-simplificado-calidad-aguas-isqa> [Consulta: octubre de 2017].

- Oxígeno disuelto: es un parámetro químico, es el oxígeno que utiliza la vida acuática para vivir.

2.5.1. Interpretación del índice ISQA

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

Tabla I. Clasificación de la calidad del agua según el ISQA

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

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

2.6. Índice biótico BMWP (*biological monitoring working party*)

En 1970 se estableció en Inglaterra el índice *biological monitoring working party* (BMWP), creado por Armitage, “el índice se basa en un método simple de puntaje para todos los grupos de macroinvertebrados acuáticos identificados en un punto específico, hasta nivel de familia lo cual representa un ahorro de

trabajo taxonómico y la posibilidad de ser utilizado por personal sin dicha experiencia. Además, que requiere solo de datos cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va desde 1 (familias muy tolerantes) hasta 10 (familias intolerantes) de acuerdo con su tolerancia a la contaminación orgánica.”¹⁰

La suma de los puntajes de todas las familias en un sitio determinado da el puntaje BMWP total. El puntaje promedio por taxón conocido ASPT (*average score per taxon*), esto es, el puntaje total BMWP dividido por el número de los taxa es un índice particularmente valioso para la evaluación del sitio. Los valores de puntaje para las familias individuales reflejan su tolerancia a la contaminación basado en el conocimiento de la distribución y abundancia.

Se consideran macroinvertebrados bentónicos a aquellos organismos invertebrados que desarrollan alguna fase de su ciclo vital en el medio acuático y cuyo tamaño es superior a los 2 milímetros. Abarca insectos, moluscos, crustáceos, turbelarios y anélidos principalmente.

2.6.1. Índice biótico BMWP-CR

El índice 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 tolerancia de cada uno.

Los macroinvertebrados acuáticos bentónicos se definen como “pequeños animales que pueden observarse a simple vista y tienen tamaños entre 2

¹⁰ ACUÑA CAMPOS, Esteban Stuardo. *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*. 113 p.

milímetros y 30 centímetros”.¹¹ No poseen huesos, solamente exoesqueletos y viven en los fondos de los cuerpos de agua (bentos).

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 punto de muestreo es la que brinda el valor final del índice.

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

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

Puntuación	Orden	Familia
9	<i>Odonata</i>	<i>Polythoridae</i>
	<i>Diptera</i>	<i>Blephariceridae; Athericidae</i>
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Heptageniidae</i>
	<i>Plecoptera</i>	<i>Perlidae</i>
	<i>Trichoptera</i>	<i>epidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae</i>
8	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Leptophlebiidae</i>
	<i>Odonata</i>	<i>Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae</i>
	<i>Trichoptera</i>	<i>Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae</i>
	<i>Blattodea</i>	<i>Blaberidae</i>

¹¹ MAFLA, Maribel. *Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano Talamanca - Costa Rica*. 88 p.

Continuación de la tabla II.

7	<i>Coleoptera</i>	<i>Ptilodactylidae; Psephenidae;</i> <i>Lutrochidae</i>
	<i>Odonata</i>	<i>Gomphidae; Lestidae; Platystictidae</i> <i>Megapodagrionidae; Protoneuridae</i>
	<i>Trichoptera</i>	<i>Philopotamidae</i>
	<i>Crustacea</i>	<i>Talitridae; Gammaridae</i>
6	<i>Odonata</i>	<i>Libellulidae</i>
	<i>Megaloptera</i>	<i>Corydalidae</i>
	<i>Trichoptera</i>	<i>Hydroptilidae; Polycentropodidae;</i> <i>Xiphocentronidae</i>
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Euthyplociidae; Eponychia</i>
5	<i>Lepidoptera</i>	<i>Pyalidae</i>
	<i>Trichoptera</i>	<i>Hydropsychidae; Helicopsychidae</i>
	<i>Coleoptera</i>	<i>Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae;</i> <i>Limnichidae</i>
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Leptohyphidae; Oligoneuriidae;</i> <i>Polymitarcyidae; Baetidae</i>
	<i>Crustacea</i>	<i>Crustacea</i>
	<i>Tricladida</i>	<i>Turbellaria</i>
4	<i>Coleoptera</i>	<i>Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae;</i> <i>Lampyridae; Staphylinidae; Dytiscidae;</i> <i>Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae</i>
	<i>Diptera</i>	<i>Dixidae; Simuliidae; Tipulidae;</i> <i>Dolichopodidae; Empididae; Muscidae;</i>

Continuación de la tabla II.

		<i>Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae</i>
	<i>Hemiptera</i>	<i>Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae</i>
	<i>Odonata</i>	<i>Calopterygidae; Coenagrionidae</i>
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Caenidae</i>
	<i>Hidracarina</i>	<i>Hidracarina</i>
3	<i>Coleoptera</i>	<i>Hydrophilidae</i>
	<i>Diptera</i>	<i>Psychodidae</i>
	<i>Mollusca</i>	<i>Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae; Bythinellidae; Sphaeridae</i>
	<i>Annelida</i>	<i>Hirudinea: Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae</i>
	<i>Crustacea</i>	<i>Asellidae</i>
2	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae</i>
1	<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>
	<i>Annelida</i>	<i>Oligochatea (todas las clases)</i>

Fuente: Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica. *Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. Decretos No. 33903-MINAE-S. 09 marzo del 2007. p. 16.*

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

Tabla III. **Clasificación de calidad del agua según índice BMWP**

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

Fuente: Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica. *Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. Decretos No. 33903-MINAE-S. 09 marzo del 2007.* p. 18.

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables

Se realizará un monitoreo de la calidad del agua del río Molino por medio de parámetros fisicoquímicos y bióticos analizando las siguientes variables independientes y dependientes con sus unidades respectivas:

3.1.1. Variables Independientes

- Monitoreo del río
 - Parte alta
 - Parte baja

- Época de monitoreo
 - Seca
 - Lluviosa

3.1.2. Variables dependientes

- Índice simplificado de calidad del agua (NA)
- Índice biótico BMWP (NA)
- Calidad del agua (NA)
- Temperatura (°C)
- Demanda química de oxígeno (mg/L)
- Oxígeno disuelto (mg/L)
- Sólidos suspendidos totales (mg/L)

- Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- Variedad taxonómica (NA)
- Número de macroinvertebrados (NA)
- Puntuación de macroinvertebrados (NA)

3.2. Delimitación de campo de estudio

El estudio se limita a monitorear y evaluar la calidad del agua del río Molino ubicado en la zona 11 de la ciudad de Guatemala, por medio de los índices simplificados de calidad del agua (ISQA) y el índice biótico BMWP. Se analizarán dos puntos de muestreo ubicados en la parte alta y baja del río tanto en época lluviosa (5 muestras) como en época seca (5 muestras). Las muestras se analizarán en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”.

3.3. Recursos humanos disponibles

El recurso humano en el presente trabajo de investigación es:

- Investigador: Br. Glenda Yesenia Isidro Sebastian
- Asesor: Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

3.4. Recursos materiales disponibles

- Equipo personal para toma de muestras
 - Guantes de látex
 - Botas de hule
 - Bata de laboratorio

- Mascarilla
- Equipo para recolección de muestras
 - Red de muestreo tipo D (cedazo de 1mm)
 - Dispositivo GPS marca Garmin Etrex
 - Cámara digital
 - Frascos pequeños
 - Botes de plástico con tapón hermético
 - Hoja de toma de datos
 - Pinzas
 - Multiparamétrico
 - Hielera
- Cristalería y equipo para análisis de laboratorio
 - Medidor de oxígeno disuelto marca Hach
 - Conductímetro marca Hach
 - Balanza analítica
 - Horno de secado
 - Bomba de vacío
 - Filtros para análisis de sólidos en suspensión (45mm)
 - Pipeta
 - Probeta
 - Termómetro
 - Kitasato
 - Manguera
 - Termoreactor
 - Espectrofotómetro

- Tubos de ensayo
- Estereoscopio
- Caja de Petri

- Reactivos
 - Alcohol etílico (70 %)
 - Glicerina
 - Agua destilada
 - Reactivo para DQO

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

La técnica del estudio a realizar es de carácter cuantitativo porque se medirán parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el cálculo del índice ISQA y BMWP, y de carácter cualitativo debido a que se interpretará la calidad del agua tomando como referencia a cuerpos naturales de agua, tomadas del río Molino.

3.6. Procedimiento de muestreo

Para realizar la parte experimental del trabajo de graduación se realiza los siguientes pasos.

3.6.1. Toma de muestras

- Realizar una visita técnica para reconocimiento del área.

- Localizar los dos puntos de muestreo con el uso del GPS y determinar la

viabilidad de los puntos de muestreo.

- Tomar una muestra representativa con la red tipo D para los macroinvertebrados, recorriendo en a contracorriente por lo menos dos metros.
- Almacenar la muestra recolectada de macroinvertebrados en un frasco con alcohol y glicerina sellada. Anotar fecha y punto de muestreo.
- Lavar los recipientes de plástico con tapón, repetir tres veces antes de recolectar la muestra de agua.
- Tomar muestra de agua a contracorriente y tapar el recipiente rápidamente.
- Almacenar la muestra en una hielera con suficiente hielo para la conservación de sus propiedades por más tiempo.
- Medir parámetros *in situ* con ayuda del multiparamétrico tocando el fondo del río.

3.6.2. Análisis fisicoquímicos

- Anotar los parámetros *in-situ* de temperatura, oxígeno disuelto y conductividad de la muestra de agua en los dos puntos de muestreo con ayuda del multiparamétrico.
- Medir el DQO a cada muestra en el laboratorio.

- Medir la cantidad de sólidos disueltos totales a cada muestra en el laboratorio.
- Calcular el índice simplificado de calidad del agua (ISQA).
- Determinar la calidad del agua según tabla I.

3.6.3. Análisis de macroinvertebrados

- Analizar los macroinvertebrados con el uso de lupa y/o estereoscopio según sea conveniente.
- Clasificar los macroinvertebrados por orden y familia con la ayuda de guías taxonómicas.
- Ponderar la calidad del agua en base al índice biótico *biological monitoring working party* BMWP-CR según la tabla III.
- Determinar la calidad del agua según tabla IV.

3.7. Recolección y ordenamiento de la información

Se realizarán cinco muestras en época lluviosa y cinco en época seca; cada muestra toma muestras representativas del río que luego serán analizadas en laboratorio.

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

Punto de muestreo	Ubicación	Coordenadas
Parte alta	Residenciales San Gil	14°36'00.4"N, 90°34'01.2"W
Parte baja	Puente Villalobos	14°33'18.2"N, 90°34'37.9"W

Fuente: elaboración propia.

3.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Para el cálculo y análisis de los índices ISQA y BMWP se requiere la recolección de los siguientes datos.

Tabla V. **Datos para el cálculo del índice ISQA en la época seca del río Molino**

Fecha	Muestra	Parte del río	T (°C)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	CE (µS/cm)	OD (mg/L)
26/02/18	1	Alta	16,90	641	116	694,02	0,23
		Baja	21,88	174	45	613,18	0,24
05/03/18	2	Alta	17,14	234	2 060	733,58	0,37
		Baja	20,48	536	1 100	810,98	0,38
12/03/18	3	Alta	17,63	381	84	710,36	0,42
		Baja	22,09	130	50	639,84	0,36
19/03/18	4	Alta	19,63	401	66	646,72	0,47
		Baja	23,04	183	166	639,84	0,35
09/04/18	5	Alta	18,70	417	70	759,38	0,79
		Baja	22,51	191	108	749,92	0,54

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Datos para el cálculo del índice ISQA en la época lluviosa del río Molino**

Fecha	Muestra	Parte del río	T (°C)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	CE (µS/cm)	OD (mg/L)
17/07/18	6	Alta	21,91	399	144	913,32	0,50
		Baja	27,50	253	0	697,46	0,20
23/07/18	7	Alta	19,97	534	53	723,26	0,33
		Baja	22,97	258	48	659,62	0,29
31/07/18	8	Alta	22,08	181	8 100	473,00	0,37
		Baja	24,12	320	1 020	504,82	0,43
06/08/18	9	Alta	20,15	294	24	587,38	0,46
		Baja	23,54	84	26	552,98	0,35
13/08/18	10	Alta	19,75	313	62	688,00	0,39
		Baja	23,43	95	27	642,42	0,33

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Cálculo del índice BMWP en la época seca para la parte alta del río Molino**

Muestra	Orden	Familia	Puntuación
1	Diptera	<i>Syrphidae</i>	1
	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
	Diptera	<i>Dolichopodidae</i>	4
	Diptera	<i>Psychodidae</i>	3
	Diptera	<i>Culicidae</i>	2
		BMWP	12
2	Diptera	<i>Syrphidae</i>	1
	Diptera	<i>Psychodidae</i>	3
	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
		BMWP	6
3	Diptera	<i>Syrphidae</i>	1
	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
	Diptera	<i>Psychodidae</i>	3
	Diptera	<i>Culicidae</i>	2
		BMWP	8
4	Diptera	<i>Syrphidae</i>	1
	Diptera	<i>Psychodidae</i>	3
	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
		BMWP	6
5	Diptera	<i>Syrphidae</i>	1
	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
	Diptera	<i>Culicidae</i>	2
		BMWP	5

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Cálculo del índice BMWP en la época seca para la parte baja del río Molino**

Muestra	Orden	Familia	Puntuación
1	Diptera	<i>Syrphidae</i>	1
	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
	Diptera	<i>Muscidae</i>	4
	Diptera	<i>Dixidae</i>	4
		BMWP	11
2	Diptera	<i>Syrphidae</i>	1
	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
	Diptera	<i>Psychodidae</i>	3
		BMWP	6
3	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
	Diptera	<i>Psychodidae</i>	3
	Diptera	<i>Culicidae</i>	2
		BMWP	7
4	Diptera	<i>Psychodidae</i>	3
	Diptera	<i>Syrphidae</i>	1
		BMWP	4
5	Diptera	<i>Syrphidae</i>	1
	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
	Diptera	<i>Culicidae</i>	2
		BMWP	5

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Cálculo del índice BMWP en la época lluviosa para la parte alta del río Molino**

Muestra	Orden	Familia	Puntuación
6	Diptera	<i>Psychodidae</i>	3
	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
	Diptera	<i>Dixidae</i>	4
		BMWP	9
7	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
	Diptera	<i>Culicidae</i>	2
		BMWP	4
8	Diptera	<i>Psychodidae</i>	3
	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
		BMWP	5
9	Diptera	<i>Psychodidae</i>	3
	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
		BMWP	5
10	Diptera	<i>Psychodidae</i>	3
	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
		BMWP	5

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Cálculo del índice BMWP en la época lluviosa para la parte baja del río Molino**

Muestra	Orden	Familia	Puntuación
6	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
	Diptera	<i>Culicidae</i>	2
		BMWP	4
7	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
	Diptera	<i>Culicidae</i>	2
	Diptera	<i>Psychodidae</i>	3
		BMWP	7
8	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
	Diptera	<i>Psychodidae</i>	3
	Diptera	<i>Muscidae</i>	4
		BMWP	9
9	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
	Diptera	<i>Dixidae</i>	4
		BMWP	6
10	Diptera	<i>Chironomidae</i>	2
	Diptera	<i>Psychodidae</i>	3
		BMWP	5

Fuente: elaboración propia.

3.9. Análisis estadístico

El diseño experimental del estudio de investigación a nivel de tesis es completamente al azar, el cual tiene cuatro tratamientos: época seca, época lluviosa, parte alta y parte baja del río. El estudio cuenta con cinco repeticiones para cada tratamiento por lo que en total hay 20 unidades experimentales.

3.9.1. Media muestral

Es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos.

$$\bar{X} = \frac{x_1+x_2+\dots+x_n}{n} \text{ Ec. 1}$$

Donde:

- \bar{x} = valor promedio de los datos
- x_n = valor de un dato
- n = total de datos

3.10. Plan de análisis de los resultados para el cálculo de ISQA

La metodología utilizada para el cálculo del índice simplificado de la calidad del agua es:

$$ISQA = T * (A + B + C + D) \text{ Ec. 2}$$

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
 - $B = 17 - (0,07 \cdot \text{SST})$ si $250 \text{ mg/L} \geq \text{SST} > 100$ mg/L
 - $B = 0$ si $\text{SST} > 250$ mg/L

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

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

4. RESULTADOS

Tabla XI. **Calidad del agua del río Molino por medio del índice ISQA para la época seca**

Muestra	Parte del río	ISQA	Calidad	Color
1	Alta: Residenciales San Gil	21,14	Pésima	Rojo
2		12,24	Pésima	Rojo
3		24,98	Pésima	Rojo
4		28,43	Mala	Amarillo
5		27,56	Mala	Amarillo
Promedio		22,87	Pésima	Rojo
6	Baja: Puente Villalobos	30,62	Mala	Amarillo
7		11,52	Pésima	Rojo
8		29,83	Mala	Amarillo
9		17,78	Pésima	Rojo
10		21,27	Pésima	Rojo
Promedio		22,20	Pésima	Rojo

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Calidad del agua del río Molino por medio del índice ISQA para la época lluviosa**

Muestra	Parte del río	ISQA	Calidad	Color
1	Alta: Residenciales San Gil	17,59	Pésima	Rojo
2		29,29	Mala	Amarillo
3		14,78	Pésima	Rojo
4		35,28	Mala	Amarillo
5		28,50	Mala	Amarillo
Promedio		25,09	Mala	Amarillo
6	Baja: Puente Villalobos	33,67	Mala	Amarillo
7		29,41	Mala	Amarillo
8		14,12	Pésima	Rojo
9		33,62	Mala	Amarillo
10		32,52	Mala	Amarillo
Promedio		28,67	Mala	Amarillo

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Calidad del agua del río Molino por medio del índice BMWP para la época seca**

Muestra	Parte del río	BMWP	Calidad	Color
1	Alta: Residenciales San Gil	12	Muy mala	Rojo
2		6	Muy mala	Rojo
3		8	Muy mala	Rojo
4		6	Muy mala	Rojo
5		5	Muy mala	Rojo
Promedio		7,4	Muy mala	Rojo
6	Baja: Puente Villalobos	11	Muy mala	Rojo
7		6	Muy mala	Rojo
8		7	Muy mala	Rojo
9		4	Muy mala	Rojo
10		5	Muy mala	Rojo
Promedio		6,6	Muy mala	Rojo

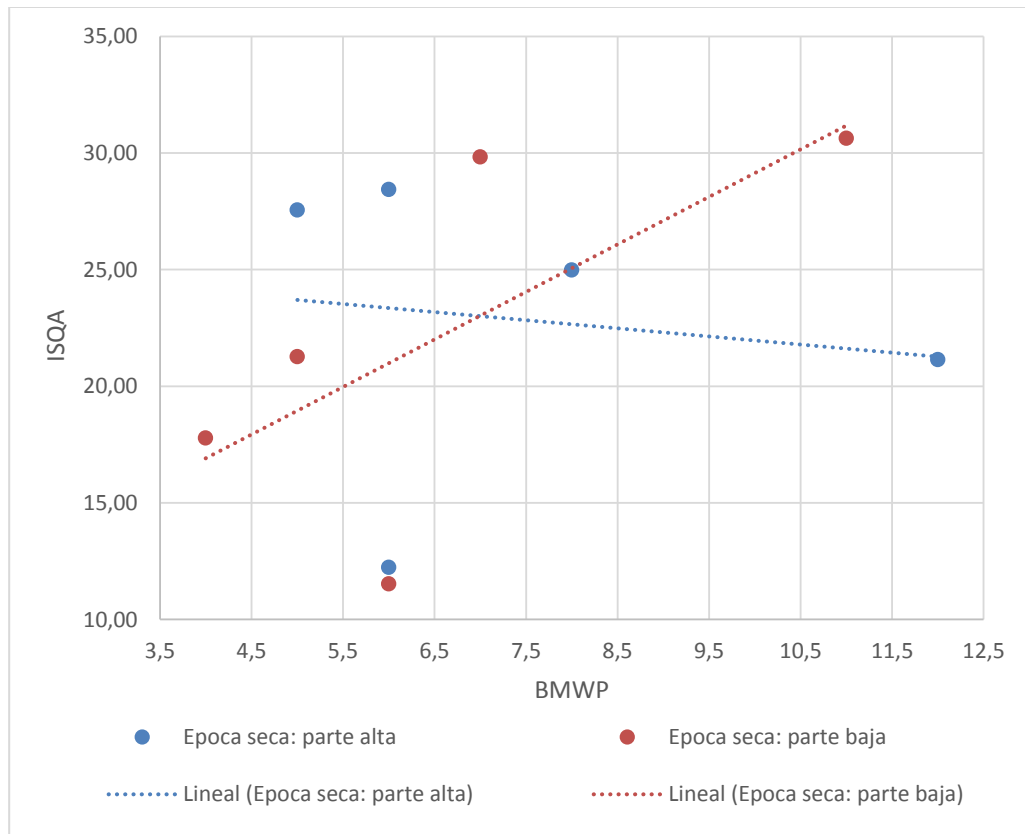
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Calidad del agua del río Molino por medio del índice BMWP para la época lluviosa**

Muestra	Parte del río	BMWP	Calidad	Color
1	Alta: Residenciales San Gil	9	Muy mala	Rojo
2		4	Muy mala	Rojo
3		5	Muy mala	Rojo
4		5	Muy mala	Rojo
5		5	Muy mala	Rojo
Promedio		5,6	Muy mala	Rojo
6	Baja: Puente Villalobos	4	Muy mala	Rojo
7		7	Muy mala	Rojo
8		9	Muy mala	Rojo
9		6	Muy mala	Rojo
10		5	Muy mala	Rojo
Promedio		6,2	Muy mala	Rojo

Fuente: elaboración propia.

Figura 1. **Correlación entre los índices ISQA y BMWP para la época seca**



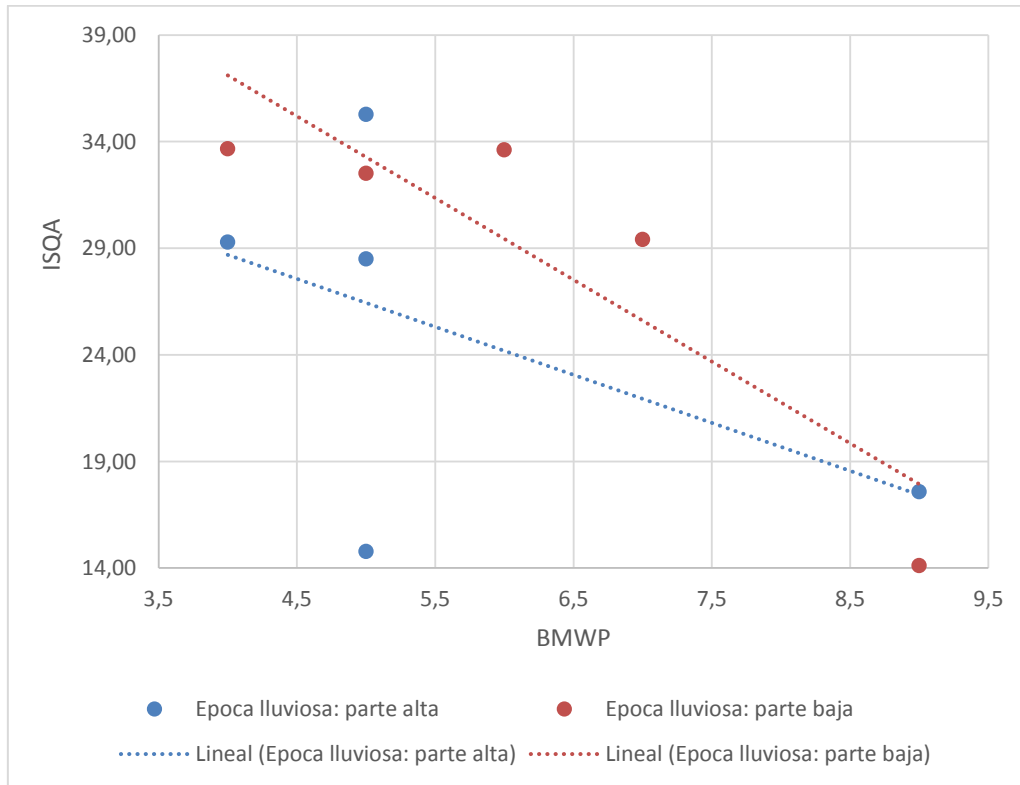
Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Ecuación y coeficiente de correlación de la figura 1**

Parte del río	Modelo matemático	R
Alta	$ISQA = -0,35(BMWP) + 25,44$	-0,15
Baja	$ISQA = 2,04(BMWP) + 8,75$	0,68

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. **Correlación entre los índices ISQA y BMWP para la época lluviosa**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Ecuación y coeficiente de correlación de la figura 2**

Parte del río	Modelo matemático	R
Alta	$ISQA = -2,25(BMWP) + 37,69$	-0,51
Baja	$ISQA = -3,83(BMWP) + 52,44$	-0,89

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. Influencia estacional sobre la calidad del agua del río Molino por medio del índice ISQA

Parte del río	ISQA época seca	ISQA época lluviosa	Porcentaje de mejora (%)
Alta: Residenciales San Gil	22,87	25,09	9,71
Baja: Puente Villalobos	22,20	28,67	29,14

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. Influencia estacional sobre la calidad del agua del río Molino por medio del índice BMWP

Parte del río	BMWP época seca	BMWP época lluviosa	Porcentaje de mejora (%)
Alta: Residenciales San Gil	7,4	5,6	32,1
Baja: Puente Villalobos	6,6	6,2	6,4

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se monitoreo el río Molino ubicado en la zona 11 de la ciudad de Guatemala, tomando como referencia dos puntos de muestreos: la parte alta en residenciales San Gil y la parte baja en el puente de Villalobos, tanto en la época seca como en la época lluviosa para evaluar y comparar la calidad del agua por medio del índice simplificado de calidad del agua (ISQA) y el índice biótico BMWP.

En la tabla XI se observa la calidad del agua por medio del índice fisicoquímico ISQA para la época seca, se obtuvo un valor promedio de 22,87 en la parte alta y de 22,20 en la parte baja, se tuvo como resultado una calidad pésima representada por color rojo, lo que indica que las aguas son negras con una fermentación y olor considerable. La calidad del agua para la época lluviosa se observa en la tabla XII donde la calidad de agua para la parte alta tiene un valor promedio de 25,09 y la parte baja 28,67, a ser una calidad mala y de color amarillo, lo que indica agua contaminada y con leve olor.

En el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) se observa que la calidad del agua en la parte alta: residenciales San Gil, es menor en ambas épocas esto se debe a que el río pasa por la residencial donde no se tiene una planta de tratamiento de residuos domésticos y al estar cerca de la actividad antropogénica aumenta el acumulo de desechos orgánicos por lo que aumenta la cantidad de solidos suspendidos totales (SST) y, por lo tanto, disminuye la calidad del agua.

En las tablas XIII y XIV se observa la calidad del agua del río por medio de la carga biótica macroinvertebrada representa por el índice BMWP en época seca y época lluviosa respectivamente, donde se obtuvo para ambos valores menores de 15 lo que significa una calidad del agua muy mala representada de color rojo, lo que significa aguas altamente contaminadas.

En el río Molino se encontró 7 familias de macroinvertebrados de orden *Diptera*, son familias de larvas acuáticas que resisten a la contaminación del río, se alimentan de desechos orgánicos y por las condiciones dadas del río pueden sobrevivir. La calidad del agua por medio del índice BMWP es mayor en la época seca ya que el caudal del río se reduce y la carga de contaminantes sólidos también por lo que pueden resistir más especies de macroinvertebrados.

En la figura 1 se observa la influencia de los parámetros fisicoquímicos del índice ISQA sobre la carga biótica de macroinvertebrada expresados en el índice BMWP para la época seca donde se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,15 para la parte alta y 0,68 para la parte baja, lo que indica una dispersión considerable entre los datos y determinando así que existe correlación moderada baja entre ambos índices.

La influencia de los parámetros fisicoquímicos sobre la carga biótica de macroinvertebrados para la época lluviosa está representada en la figura 2 donde se obtuvo coeficiente de correlación para la parte alta de 0,51 para la parte alta y 0,89 para la parte baja del río, lo que indica una dispersión moderada entre ambos factores y con lo que se determinó una correlación moderada entre ambos índices.

Los valores negativos del coeficiente de correlación indican una pendiente negativa entre los factores fisicoquímicos del índice ISQA sobre la carga biótica de macroinvertebrados representados por el índice BMWP, lo que indica que mientras aumenta el valor del índice ISQA en los muestreos los valores del índice BMWP disminuyen.

La variación entre los datos representados en las figuras 1 y 2 se debe a que el índice BMWP estima una ponderación según las familias encontradas y los parámetros del índice ISQA representan datos puntales tomados del cuerpo de agua que indica el comportamiento fisicoquímico del río.

En la tabla XV se observa cómo afecta el cambio de estación a la calidad del agua por medio del índice simplificado de calidad del agua (ISQA) donde se obtiene un aumento de la calidad del agua al pasar de época seca a época lluviosa representado por un porcentaje de mejora de 9,71 % para la parte alta y 29,11 % para la parte baja del río.

La calidad del agua por medio del índice simplificado de calidad del agua ISQA aumenta en la época lluviosa ya que el caudal del río aumenta por lo que se da autodepuración de desechos orgánicos e inorgánicos, la temperatura del río disminuye por lo tanto disminuye la cantidad de oxígeno disuelto mejorando las condiciones de vida del hábitat acuática del río y disminuyen la demanda química de oxígeno.

La calidad del agua por medio de la carga biótica de macroinvertebrados representados por el índice BMWP, como se observa en la tabla XVIII mejora en un 32,1 % en la parte alta y 6,4 % en la parte baja al pasar de época lluviosa a época seca esto se debe a que el proceso de dilución disminuye, por lo tanto, la disponibilidad de sustrato y biodiversidad aumenta en la época seca.

El análisis estadístico indica que no existe correlación lineal entre los parámetros fisicoquímicos del índice ISQA sobre la carga biótica de macroinvertebrados representados por el índice BMWP. El análisis estadístico está basado en el coeficiente de correlación, aceptando la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95 %.

CONCLUSIONES

1. La calidad del agua por medio del índice simplificado de calidad del agua ISQA para la época seca fue pésima representada de color rojo, mientras que para la época lluviosa fue mala representada por color amarillo para ambos puntos de muestreos.
2. La calidad del agua por medio de la carga biótica de macroinvertebrados representada por el índice BMWP para la época seca y lluviosa fue muy mala representada por color rojo para ambos puntos de muestreo.
3. No existe correlación lineal entre los parámetros fisicoquímicos del índice ISQA sobre la carga biótica de macroinvertebrados representados en el índice BMWP para la época seca y época lluviosa.
4. La calidad fisicoquímica del agua conforme al ISQA del río Molino mejora en 9,71 % en la parte alta y un 29,11 % en la parte baja del río, al cambiar de época seca a época lluviosa.
5. La calidad biológica del agua conforme al BMWP del río Molino mejora en 32,1 % en la parte alta y un 6,4 % en la parte baja del río, al cambiar de época lluviosa a época seca.

RECOMENDACIONES

1. Para evaluar la calidad del agua de un cuerpo de agua, analizar en tres puntos distintos las mediciones para obtener un comportamiento de la calidad del agua conforme avance el cuerpo de agua.
2. Fomentar el uso de la carga biótica de macroinvertebrados como una opción rápida para evaluar la calidad del agua.
3. Establecer las fuentes potenciales de contaminación de los ríos de Guatemala y crear bases para reducirlas.
4. Establecer plantas de tratamiento en residencias cercanas de los ríos para reducir el ingreso la conducción de aguas residuales de tipo ordinarias, para no descargar las aguas crudas a los ríos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACUÑA CAMPOS, Esteban Stuardo. *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*. Trabajo de graduación de Ing. Ambiental. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 113 p.
2. CAMPOS GÓMEZ, Irene. *Saneamiento ambiental*. San José, Costa Rica: EUNED, 2003. 248 p.
3. Junta de Andalucía. *Proceso de contaminación del agua*. [en línea]. <https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/salud_5af065353fcf6_contaminacion_nitratos.pdf> [Consulta: 17 de octubre de 2017].
4. LÓPEZ SALAZAR, Odalis Ivette. *Determinación de la calidad ambiental del agua, mediante índices bióticos y fisicoquímicos en la microcuenca del río Agua Tibia, zona 24*. Trabajo de graduación de Ing. Ambiental. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2016. 140 p.
5. MAFLA, Maribel. *Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano Talamanca - Costa Rica*. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 2005. 88 p.

6. MÉNDEZ SPIEGELER, Silvia Alejandra. *Determinación de la influencia de las características fisicoquímicas medidas a través del índice simplificado de calidad del agua (ISQA), sobre la biota medida a través del índice biótico BMWP en la microcuenca del río Contreras del municipio de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Ambiental. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2015. 163 p.
7. RIVERA MÉNDEZ, Jorge Leonel. *Determinación de los índices de calidad y coeficientes cinéticos de auto depuración del agua, en la parte alta de la cuenca del río Naranjo, ubicada en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango*. Trabajo de graduación de Maestro en Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, 2008. 162 p.
8. ROS MORENO, Antonio. *Índice simplificado de calidad de aguas (ISQA)*. [En línea]. <<http://www.mailxmail.com/curso-agua-calidad-contaminacion-2-2/indice-simplificado-calidad-aguas-isqa>> [Consulta: 16 de octubre de 2017].
9. Soluciones Medioambientales y Aguas, S.A. *Sustancias contaminantes y sus efectos en la calidad del agua*. [En línea]. <<https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/sustancias-contaminantes-y-sus-efectos-en-la-calidad-del-agua>> [Consulta: 20 de octubre de 2017].

APÉNDICES

Apéndice 1. **Parte alta del río Molino, residenciales San Gil**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Parte baja del río Molino, puente de Villalobos**



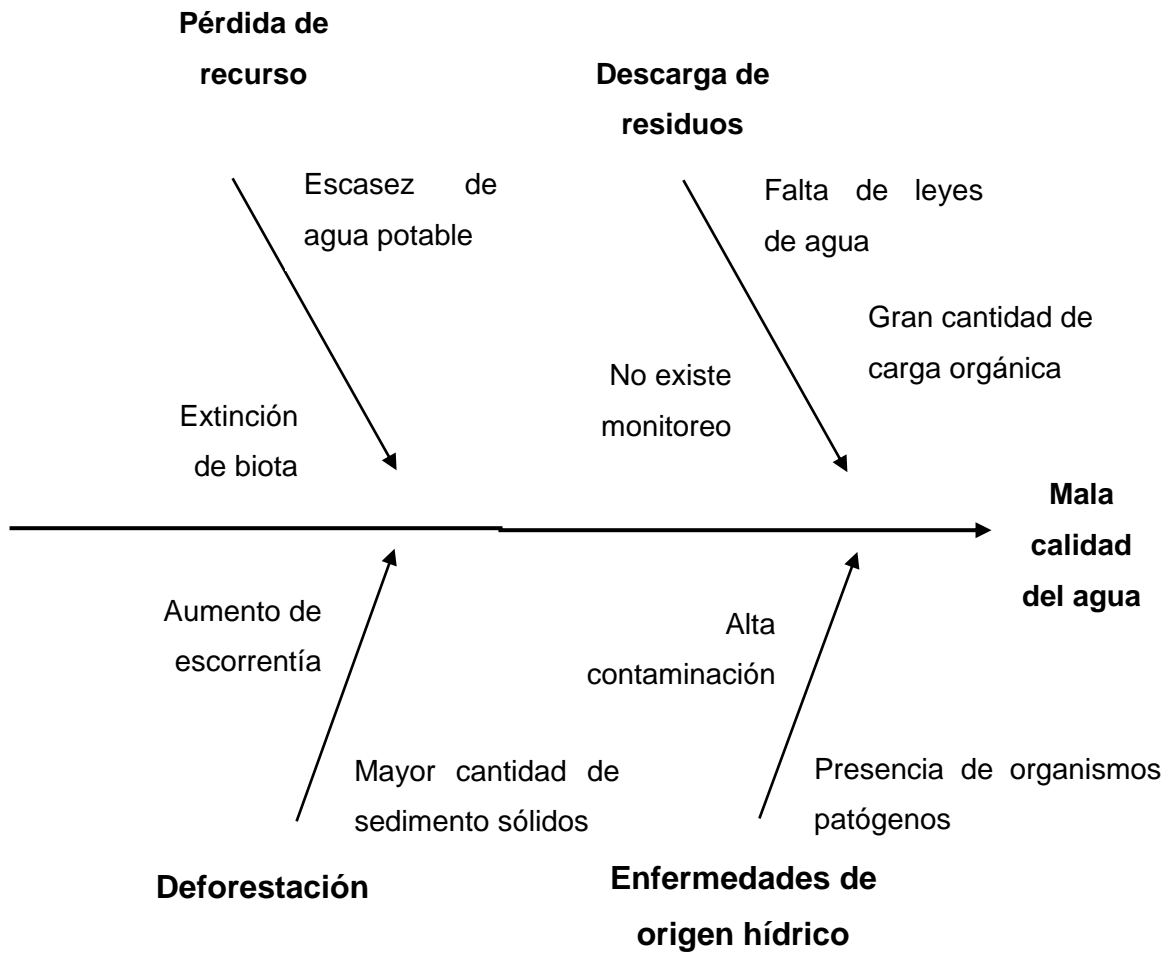
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Tabla de requisitos académicos**

Carrera	Campo de conocimiento	Área	Curso	Tema específico	Temática por resolver
Ingeniería química	Ingeniería y tecnología	Química	Análisis cualitativo	Solubilidad	Manejo e interpretación de datos
			Análisis cuantitativo	Gravimetría	Coloides, suspensión y precipitados
			Química Ambiental	Contaminación ambiental y su regulación	Contaminación hídrica, impacto ambiental y su mitigación
			Ecología	Ciclos ecológicos Poblaciones Ecosistemas Contaminación	Estructura y función de ecosistemas. Clases de contaminación Recursos naturales.
		Área de especialización	Microbiología	Microbiología aplicada	Microbiología del agua, aspectos básicos de la microbiología del agua y microbiología del agua residual.
		Área de ciencias básicas y complementaria	Estadística 1	Estadística descriptiva	Proporcionar elementos para el análisis de datos.
			Estadística 2	Pruebas de hipótesis	Determinar la relación de correlación dos variables.
			Calidad del agua	Índices de calidad del agua. Plan de monitoreo.	Cálculo, análisis e interpretación de parámetros para índices de calidad.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Diagrama de Ishikawa**



Fuente: elaboración propia.

