



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

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LAS VACAS DEL MUNICIPIO DE
GUATEMALA, POR MEDIO DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y
EL ÍNDICE BIOLÓGICO BMWP**

Crispy Laméc Bocel Castro

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, junio de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LAS VACAS DEL MUNICIPIO DE
GUATEMALA, POR MEDIO DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y
EL ÍNDICE BIOLÓGICO BMWP**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CRISPY LAMÉC BOCEL CASTRO

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

GUATEMALA, JUNIO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. 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 Mario Estrada Asturias
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Lorena Benítez Pacheco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LAS VACAS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA, POR MEDIO DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE BIOLÓGICO BMWP

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

Crispy Laméc Bocel Castro

Guatemala, 16 de noviembre del 2020

Ingeniero

Williams Guillermo Álvarez Mejía

DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Química

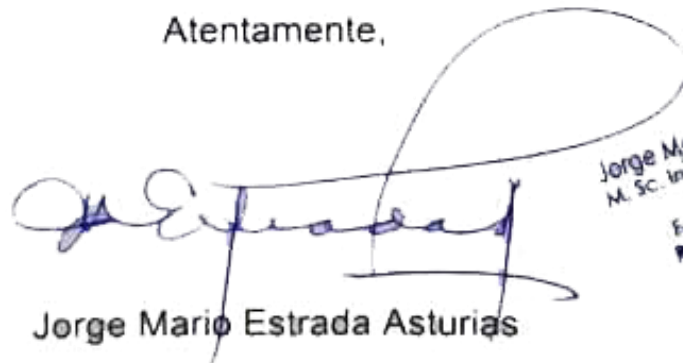
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado satisfactoriamente el Informe Final de Trabajo de Graduación titulado: **"Determinación de la calidad del agua del río Las Vacas del municipio de Guatemala, por medio del índice simplificado de calidad del agua (ISQA) y el índice biológico BMWP"**, elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, **Crispy Laméc Bocel Castro** quien se identifica con el registro académico: **2013-18602** y número de CUI: **2856 65936 0712**.

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 Colegiado
PROFESOR TITULAR
Facultad de Ingeniería
Registro USAC 20080059



Guatemala, 26 de noviembre de 2020.
Ref. EIQ.TG-IF.045.2020.

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **062-2017**, 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: **Crispy Laméc Bocel Castro**.

Identificado con número de carné: **2856659360712**.

Identificado con registro académico: **201318602**.

Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Ambiental**.

En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

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

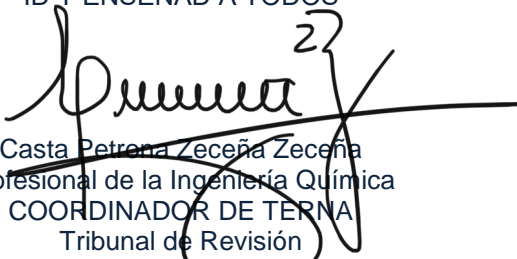
DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LAS VACAS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA, POR MEDIO DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE BIOLÓGICO BMWP

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Jorge Mario Estrada Asturias, profesional de la Ingeniería Química

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

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Casta Petrona Zeceña Zeceña
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



Guatemala, 7 de junio de 2021.
Ref. EIQ.111.2021

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

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

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LAS VACAS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA, POR MEDIO DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE BIOLÓGICO BMWP** del(la) estudiante Crispy Laméc Bocel Castro, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Ambiental.

“Id y Enseñad a Todos”



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

Cc. Archivo
WGAM/wgam



Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939

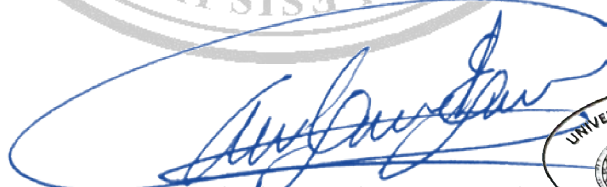


NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA

DTG. 256-2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LAS VACAS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA, POR MEDIO DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA) Y EL ÍNDICE BIOLÓGICO BMWP**, presentado por la estudiante universitaria: **Crispy Laméc Bocel Castro**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, junio de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Santísima Trinidad y la Virgen María

Por ser la fuente de fuerza e inspiración durante toda mi carrera.

Mis padres

Mis amados padres, Ismelda Castro Quisquiná y Nicolás Bocel Pérez, por su incondicional amor, consideración, apoyo y paciencia. Me enseñaron que con el trabajo duro y bien hecho se logra cualquier sueño.

Mis tías

Por estar allí en todo momento, siempre dispuestas a levantarme y acompañarme en los momentos más duros de mi vida.

Mis hermanos

Por darle diversión a la vida, su apoyo, ayuda, comprensión y por estar para mí, porque sé que puedo contar con ellos siempre.

Mis amigos y sus familias

Mis amigos, que me ayudaron a descubrir un mundo diferente, que me enseñaron que la verdadera amistad existe, aunque el tiempo y la distancia no estén a favor.

A sus familias, por formar parte importante de mi vida, que me tendieron la mano cuando más lo necesitaba.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi hogar durante mi formación profesional.
Facultad de Ingeniería	Por hacer de mí una profesional capaz de solucionar e innovar, por ayudarme a lograr mis metas y sueños.
Mi familia	Por toda su ayuda, confianza y paciencia, entre otras virtudes y valores.
Mi asesor	Ingeniero Jorge Mario Estrada Asturias, por acompañarme y guiarme en este trabajo.
Mis amigos de la Facultad	Por ser mis amigos y formar parte de mi vida y mi carrera.
Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala	Por apoyarme y brindarme la oportunidad de realizar este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
HIPÓTESIS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Calidad del agua.....	5
2.2. Cuencas hidrográficas	6
2.3. Componentes de un río	6
2.3.1. Contaminación de los ríos	7
2.3.2. Fuentes de contaminación.....	9
2.4. Índices de calidad	10
2.4.1. Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA).....	11
2.4.1.1. Temperatura	11
2.4.1.2. Conductividad	12
2.4.1.3. Oxígeno disuelto.....	12
2.4.1.4. Sólidos totales en suspensión	13
2.4.1.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	13
2.4.1.6. Determinación del ISQA	13

	2.4.1.7.	Interpretación del ISQA	15
2.4.2.		Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP).....	15
	2.4.2.1.	Calidad del agua según criterios del índice biótico	16
	2.4.2.2.	Macroinvertebrados acuáticos.....	18
		2.4.2.2.1. Clasificación de macroinvertebrados acuáticos según hábitat	19
	2.4.2.3.	Macroinvertebrados como bioindicadores	20
	2.4.2.4.	Interpretación del índice BMWP	21
	2.4.2.5.	Modificaciones del índice BMWP	22
		2.4.2.5.1. Índice BMWP-CR	22
2.5.		Río Las Vacas	24
2.6.		Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.....	26
3.		DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
	3.1.	Variables	27
		3.1.1. Variables independientes	27
		3.1.2. Variables dependientes.....	27
	3.2.	Delimitación de campo de estudio.....	28
	3.3.	Recursos humanos disponibles.....	29
	3.4.	Recursos materiales disponibles.....	29
	3.5.	Técnica cuantitativa y cualitativa	31
		3.5.1. Técnica cuantitativa.....	31
		3.5.2. Técnica cualitativa.....	31
	3.6.	Procedimiento experimental	31

3.7.	Recolección y ordenamiento de la información	34
3.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	45
3.9.	Análisis estadístico	47
3.10.	Plan de análisis de los resultados.....	48
4.	RESULTADOS	51
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	55
	CONCLUSIONES	59
	RECOMENDACIONES	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	63
	APÉNDICES	67
	ANEXO.....	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación del río Las Vacas dentro del municipio de Guatemala.....	25
2.	Ubicación de punto de muestreo parte alta	32
3.	Ubicación de punto de muestreo parte baja	32
4.	Comparación del índice ISQA con el índice BMWP por época	52

TABLAS

I.	Condiciones para el cálculo del ISQA	14
II.	Interpretación de resultados y código de color	15
III.	Interpretación del índice BMWP y código de color	21
IV.	Clasificación y puntajes de macroinvertebrados	23
V.	Datos fisicoquímicos de semana 1	35
VI.	Datos biológicos de semana 1	35
VII.	Datos fisicoquímicos de semana 2.....	36
VIII.	Datos biológicos de semana 2	36
IX.	Datos fisicoquímicos de semana 3.....	37
X.	Datos biológicos de semana 3	37
XI.	Datos fisicoquímicos de semana 4.....	38
XII.	Datos biológicos de semana 4	38
XIII.	Datos fisicoquímicos de semana 5.....	39
XIV.	Datos biológicos de semana 5	39
XV.	Datos fisicoquímicos de semana 1	40
XVI.	Datos biológicos de semana 1	40

XVII.	Datos fisicoquímicos de semana 2.....	41
XVIII.	Datos biológicos de semana 2	41
XIX.	Datos fisicoquímicos de semana 3.....	42
XX.	Datos biológicos de semana 3	42
XXI.	Datos fisicoquímicos de semana 4.....	43
XXII.	Datos biológicos de semana 4	43
XXIII.	Datos fisicoquímicos de semana 5.....	44
XXIV.	Datos biológicos de semana 5	44
XXV.	Datos para el cálculo del ISQA	45
XXVI.	Datos de macroinvertebrados y su puntuación para el cálculo del BMWP.	45
XXVII.	Datos para el cálculo del ISQA	46
XXVIII.	Datos de macroinvertebrados y su puntuación para el cálculo del BMWP.....	47
XXIX.	Datos calculados con las condiciones de la tabla I para el cálculo del ISQA (ecuación 1).....	49
XXX.	Datos utilizados para la elaboración de la figura 4.....	50
XXXI.	Calidad del agua del río Las Vacas por medio del índice biótico BMWP.....	51
XXXII.	Calidad del agua del río Las Vacas por medio del índice fisicoquímico ISQA.	51
XXXIII.	Modelo matemático y coeficiente de correlación	53
XXXIV.	Influencia estacional sobre el río Las Vacas	53

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados centígrados
\geq	Mayor o igual que
$>$	Mayor que
\leq	Menor o igual que
$<$	Menor que
$\mu\text{S/cm}$	Microsiemens por centímetro
Mg/L	Miligramos sobre litro

GLOSARIO

Autodepuración	Proceso de recuperación de un cuerpo de agua después de un episodio de contaminación.
Bentos	Comunidad de organismos que habitan ecosistemas acuáticos.
Bioindicadores	Vegetal, hongo o animal cuya presencia brinda información.
Biótico	Organismos vivos o relacionados con ellos.
BMWP	Índice biótico para determinar la calidad de un cuerpo de agua.
BMWP-CR	Índice biótico modificado para Costa Rica.
Correlación	Relación recíproca entre dos o más tipos de datos.
CE	Conductividad.
Dilución	Reducción de la concentración de una sustancia en una disolución.
DQO	Demanda Química de Oxígeno.

Endorreico	Sin salida fluvial hacia el océano.
Fermentación	Proceso bioquímico por el que una sustancia orgánica se transforma en otra.
Fisicoquímico	Tipo de estudio que emplea conceptos físicos y químicos.
Glicerina	Sustancia incolora, viscosa, de sabor dulce, que se utiliza con el alcohol para la conservación de macroinvertebrados.
<i>In situ</i>	Expresión que significa en el sitio o en el lugar.
ISQA	Índice fisicoquímico para la determinación de la calidad de un cuerpo de agua.
Macroinvertebrados	Organismos habitantes de los substratos del fondo de los sistemas acuáticos.
Milisiemens	Unidad de conductancia eléctrica.
Multiparamétrico	Instrumento que sirve para medir parámetros <i>in situ</i> de un cuerpo de agua.
OD	Oxígeno disuelto.
Parámetro	Elemento o dato importante para la determinación de un resultado.

R	Coeficiente de correlación.
SS	Sólidos totales en suspensión.
Taxonomía	Ciencia que trata de los principios, métodos y fines de clasificación.
T	Temperatura.

RESUMEN

La calidad de los ríos de la ciudad de Guatemala es monitoreada por la municipalidad de Guatemala, los cuales están dentro de los planes de acción del Cinturón Ecológico Metropolitano de la ciudad de Guatemala. A estos ríos se les realizan análisis fisicoquímicos y biológicos para tal estudio.

En el presente estudio de investigación se determinó la calidad de las aguas del río Las Vacas en dos puntos: la intersección de la Calzada la Paz con el Bulevar Lourdes (parte alta) y el Puente Belice (parte baja), ubicados entre las zonas 5-16 y 6-17 respectivamente, pertenecientes a la parte alta de la micro-cuenca del río Las Vacas (sub-cuenca: río Plátanos; cuenca: río Motagua), a través del índice fisicoquímico: Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA) y el índice biótico: Biological Monitoring Working Party (BMWP), en época seca y época lluviosa. Con los datos obtenidos se determinó la correlación existente entre ambos índices.

Se realizaron recolecciones de muestreos para la determinación de cada parámetro necesario, durante 5 semanas, las muestras para el análisis fisicoquímico (ISQA) se mandaron al Laboratorio Unificado de Química y Microbiológico Sanitaria Dra. Alba Tabarini, de la Facultad de Ingeniería de la USAC. Para la determinación del BMWP se estudiaron y analizaron las muestras.

Los resultados obtenidos y tabulados formaron parte del estudio que realiza la Municipalidad de Guatemala para conocer el estado actual de los ríos del municipio de Guatemala.

OBJETIVOS

General

Determinar la calidad del agua del río Las Vacas en dos puntos de muestreo: la intersección de la Calzada la Paz con el Bulevar Lourdes (parte alta) y el Puente Belice (parte baja), mediante el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) y el índice biótico BMWP para la creación de la línea base de calidad del agua de los ríos de la ciudad de Guatemala en conjunto con la municipalidad de Guatemala.

Específicos

1. Determinar el índice biótico BMWP (Biological Monitoring Working Party) en los puntos: intersección de la Calzada la Paz con el Bulevar Lourdes y el Puente Belice, en época seca y época lluviosa, para evaluar la calidad del agua del río Las Vacas.
2. Determinar el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) en los puntos: intersección de la Calzada la Paz con el Bulevar Lourdes y el Puente Belice, en época seca y época lluviosa, para evaluar la calidad del agua del río Las Vacas.
3. Realizar comparaciones entre los resultados del índice ISQA y el índice BMWP para definir el tipo de correlación que existe entre los índices de calidad del agua del río Las Vacas.

4. Comparar el comportamiento del índice ISQA con el comportamiento del índice BMWP, en época seca y época lluviosa, para establecer si existe influencia estacional en la calidad del agua del río Las Vacas.

HIPÓTESIS

- **Hipótesis de trabajo**

Existe influencia del índice fisicoquímico, índice simplificado de calidad del agua (ISQA), sobre la carga biótica de macroinvertebrados del índice biológico BMWP en el río Las Vacas.

- **Hipótesis estadísticas**

Son las siguientes:

- **Hipótesis nula:**

No hay correlación directamente proporcional entre los índices ISQA y BMWP del río Las Vacas, en función de la época estacional.

- **Hipótesis alternativa:**

Sí hay correlación directamente proporcional entre los índices ISQA y BMWP del río Las Vacas, en función de la época estacional.

INTRODUCCIÓN

La contaminación hídrica de los ríos de Guatemala es de una magnitud extrema, ya que la mayoría de ellos están contaminados de una u otra forma.

Los métodos utilizados para la determinación de la calidad del agua del río Las Vacas son: el índice fisicoquímico ISQA (índice simplificado de calidad del agua) y el índice biótico BMWP (Biological Monitoring Working Party, es decir, grupo de trabajo de monitoreo biológico).

El índice ISQA es un índice fisicoquímico que determina la calidad de las aguas por medio de un análisis de laboratorio, donde se determinan los parámetros: demanda química orgánica, sólidos totales en suspensión, oxígeno disuelto y conductividad; la temperatura del agua se mide *in situ*.

El índice BMWP se determina mediante la clasificación de la fauna encontrada en las muestras, es decir, la clasificación de los macroinvertebrados en familias. La suma de los valores de todas las familias identificadas da un valor final que permite clasificar los puntos de control en 5 clases, cada una de las cuales corresponde a un nivel diferente de calidad ecológica de las aguas.

Las observaciones y tomas de muestras en ambos puntos se realizaron en época seca y lluviosa. Los resultados calculados y determinados para cada índice se compararon con correlaciones y se estableció el comportamiento de los índices para las diferentes épocas, es decir, la influencia estacional.

Estos datos (resultados) sirven para la creación de la línea base de calidad del agua de los ríos del municipio de Guatemala bajo el cargo de la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala.

1. ANTECEDENTES

La determinación de la calidad del agua ha sido un factor muy importante en el curso de la vida en general. Existen varias formas y métodos para la determinación y evaluación de la calidad del agua, por ejemplo, a través del índice fisicoquímico el índice simplificado de calidad del agua, con las siglas ISQA, o bien ISCA, y el índice biológico BMWP.

Desde el siglo pasado se han estado realizando estudios e investigaciones con estos índices. Sería satisfactorio decir que estos estudios se realizan para conocer el grado de buena calidad de los cuerpos de agua pero lamentablemente hoy en día estos estudios se realizan para conocer el grado de contaminación, como en el caso de los cuerpos de agua de Guatemala.

Un artículo de la revista Ventana Científica publicado en el 2014 en Bolivia: *Evaluación de la calidad del agua mediante el uso de índices bióticos en el río San Andrés*, tenía como objetivo estudiar el grado de contaminación del agua del río San Andrés mediante el uso del método del índice BMWP como indicador, con la captura e identificación de los macroinvertebrados acuáticos en tramos poco profundos de agua. Los resultados obtenidos indican una mayor abundancia de macroinvertebrados pertenecientes a la familia Aeglididae (cangrejos), y se determinó que la calidad de las aguas de San Andrés es de calidad buena a relativamente buena, y que la degradación se debe a la existencia de actividad antrópica cerca del puente de dicho lugar.

Hace unos años se inició un proyecto de caracterización de la cuenca del municipio de Guatemala. En el área hidráulica se han realizado estudios de tesis para este fin, algunos estudios realizados para este proyecto son:

El trabajo de graduación de Ángel Ajcabul de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el 2016: *Análisis comparativo entre el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) y el índice de calidad del agua (ICA), aplicados al monitoreo de agua superficiales en el río La Quebrada, El Frutal*, establece como objetivo determinar la calidad del agua y la existencia de una diferencia significativa entre los índices ICA e ISQA en el monitoreo del río La Quebrada. Los resultados indican que la calidad del río La Quebrada es mala en época lluviosa y en la época seca la calidad aumenta favorablemente. Y que estadísticamente la diferencia significativa entre los dos índices de calidad no existe.

Odalís López de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el 2016 presentó su trabajo de graduación de pregrado sobre la *Determinación de la calidad ambiental del agua, mediante índices bióticos y fisicoquímicos en la microcuenca del río Agua Tibia, zona 24*. El resultado de su estudio indica que en época seca la calidad del río es mala según el índice BMWP y según el índice ISQA la calidad es inadmisibles e intermedia. Y en época lluviosa la calidad es mala según el índice BMWP y de calidad admisible según el índice ISQA.

El trabajo de graduación de pregrado en la Universidad de San Carlos de Guatemala, de Silvia Méndez, realizado en el 2015 con el estudio 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, concluye que según el índice ISQA en época seca la calidad del agua es mala y de calidad regular en la parte baja, mientras que en época lluviosa la calidad en general es regular. Por otro lado, el índice BMWP indica que la calidad del agua del río Contreras es muy crítica en ambas épocas del año.

Se han realizado varios estudios de investigación y artículos científicos sobre la evaluación de la calidad del agua tanto en Guatemala como en otros países con diferentes sistemas y métodos, los cuales están evolucionando constantemente.

Uno de los métodos, además de los dos antes mencionados, es el Sistema Holandés. Este se utilizó para evaluar el lago de Izabal en el año 2014, presentando en la revista *Ingeniería Agrícola* el artículo titulado *Aplicación del Sistema Holandés para la evaluación de la calidad del agua. Caso de estudio Lago de Izabal Guatemala*. Este estudio fue realizado por M.C. José Robledo, D. Sc. Eddi A. Vanegas C. y la Dr. C. Nancy García A.

Para este estudio se determinaron parámetros fisicoquímicos con los cuales se pudo hacer la clasificación del lago de forma espacial y temporal en clases de uso según el grado de contaminación para establecer estrategias de uso, manejo y conservación. También se determinó que dada la calidad del agua esta puede ser utilizada para fines agropecuarios, sin necesidad de tratamientos, y que se cuenta con la presencia de material orgánico poco degradable en el lago.

En el 2001 se realizó un proyecto de la Línea FODECYT denominado: *Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las aguas del río Las Vacas*. Los resultados obtenidos demostraron que el río estaba altamente contaminado

por lo que rebasaba por mucho los límites establecidos en el Reglamento de Requisitos Mínimos y sus Límites Máximos Permisibles de Contaminación para Descarga de Aguas Servidas, representando así riesgos para la cuenca y para la salud de los habitantes, que son por lo general los niños. Por ende las aguas del río no son aptas para ningún uso, además de que causa impactos muy negativos en el río Motagua.

El agua del río Las Vacas presenta características de Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno, propias de un agua residual y no de agua de río, ya que en varios sitios de muestreo se superaron los límites máximos permisibles para DQO y DBO establecidos por el reglamento.

Estos límites, que son para 2 y 24 horas en el caso de aguas residuales, pueden utilizarse para muestras tomadas al azar en el río Las Vacas, ya que la concentración de contaminantes en un río es constante en periodos de tiempo más largos que un agua residual, al no depender de actividades de producción u horarios de actividades.¹ En este estudio también reafirman que las aguas del río Las Vacas en el año 2001 estaban altamente contaminadas.

Los niveles de nutrientes (especies de nitrógeno y fósforo) encontrados en el río Las Vacas, indican que hace falta un adecuado manejo de la cuenca del río Las Vacas, ya que presentaron niveles muy superiores a los criterios de calidad para aguas naturales, así como muy superiores a los encontrados en estudios efectuados en otros ríos altamente contaminados por manejo inadecuado de cuencas, como el río Polochic.²

¹ HERNÁNDEZ, Bessie; CALLEJAS, Blanca; PÉREZ, Juan. *Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las aguas del río Las Vacas*. p. 63

² HERNÁNDEZ, Bessie; CALLEJAS, Blanca; PÉREZ, Juan. *Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las aguas del río Las Vacas*. p. 63

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Calidad del agua

La calidad de las aguas es una variable descriptora fundamental del medio hídrico, tanto desde el punto de vista de su caracterización ambiental, como desde la perspectiva de la planificación y gestión hidrológica, ya que delimita la aptitud del agua para mantener los ecosistemas y atender las diferentes demandas.

La calidad de las aguas puede verse modificada tanto por causas naturales como por factores externos. Cuando los factores externos que degradan la calidad natural del agua son ajenos al ciclo hidrológico, se habla de contaminación. La prevención, control y resolución de los problemas derivados de la contaminación de las aguas constituye uno de los objetivos que deben plantearse en cualquier política avanzada de gestión de recursos hídricos.

En contexto con la situación global expuesta resulta complejo, en ocasiones, adecuar la calidad de las aguas a los usos a los que se destina. Este hecho pone de relieve la importancia que adquiere la caracterización de la calidad natural de las aguas y la definición de los objetivos de calidad en los tramos de ríos y acuíferos de cada cuenca hidrográfica.

Los órganos administrativos encargados en cada caso de fijar los objetivos de calidad de las aguas, resultan diferentes en función de las características territoriales que tenga el tramo de río o del sector de acuífero en cuestión, y del propio uso al que el agua se dedique.

2.2. Cuencas hidrográficas

Una cuenca hidrográfica es un sistema de drenaje natural que vierte sus aguas en un único lago endorreico o bien lo vierte al mar a través de un único río. Está delimitada por la línea de las cumbres también llamada línea divisoria de aguas.

2.3. Componentes de un río

Desde el nacimiento hasta la desembocadura, un río pasa por distintas etapas o partes diferentes. Cada río, en función de su naturaleza y geografía es distinto, pero normalmente suelen tener en común las siguientes partes:

- Curso alto

El curso alto de un río o de gravedad alta es aquella parte más montañosa o escarpada. Es la zona donde las pendientes suelen ser más pronunciadas e inclinadas. Aquí se encuentra el nacimiento y la cabecera del río.

En esta parte del río el agua suele bajar con cierta velocidad, con alta capacidad de erosión del terreno, y puede arrastrar pequeñas piedras y rocas. Por tanto, al principio, donde el terreno tiene mucha pendiente, el río corre velozmente arrancando del fondo y de los lados suelo y piedras.

En esta área de algunos ríos se pueden formar los rápidos, que es donde el agua circula por una pendiente algo mayor de lo habitual, aumentando su turbulencia y velocidad de forma considerable. También se pueden encontrar saltos de agua, cataratas o cascadas.

- Curso medio

El curso medio de un río o de gravedad inestable es la zona de llanura por la que discurre. Las aguas bajan más calmadas y con una velocidad menor que en el curso alto.

En esta parte del río se arrastran los materiales que han sido erosionados. Aquí se pueden formar meandros y encurvamientos para esquivar o rodear los grandes obstáculos que encuentra a su paso. Esta zona también es donde se le pueden unir otros ríos llamados afluentes, aunque también puede haber en el curso alto, pero son más pequeños. Normalmente, al principio del curso medio de un río se suelen construir embalses, presas o centrales hidroeléctricas. Aunque esto depende mucho de cada caso en particular.

- Curso bajo

El curso bajo de un río es la parte final, cuando desemboca o muere en el mar. En este punto el cauce del río se ensancha y el agua fluye a poca velocidad. En esta zona, al circular el agua dulce muy lentamente, se van sedimentando o se depositan todos los materiales que ha ido arrastrando desde el curso alto. En función de la geografía y de la cantidad de sedimentos se pueden llegar a formar en la desembocadura, islas sedimentarias o deltas o también generar un cierto tipo de lagunas.

2.3.1. Contaminación de los ríos

La contaminación del agua es la acción y el efecto de introducir sustancias o inducir condiciones que de modo directo o indirecto impliquen una alteración

perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

La contaminación de los ríos y de acuíferos tiene su origen por las siguientes acciones: precipitación atmosférica (aguas pluviales), escorrentía agrícola (aguas arrastradas de terrenos arraigados), escorrentía superficial de zonas urbanizadas (aguas arrastradas de centros urbanos), vertidos de aguas procedentes del uso doméstico (aguas residuales domésticas) y descargas de vertidos industriales (aguas de procesos tecnológicos).³

En cada caso concreto los procesos contaminantes se desencadenan por el vertido de determinadas sustancias al medio hídrico y por su influencia negativa sobre la aptitud del agua para satisfacer determinados usos u objetivos de calidad.

El incremento de la contaminación de tipo difuso, asociada a episodios de lluvias y caudales altos, que provoca el arrastre de la contaminación depositada en el suelo, pone de relieve la importancia que posee la planificación de los usos del suelo y el estudio de medidas contra tales efectos esporádicos.

A este respecto ha de indicarse que la contaminación de cauces por las aguas de tormenta aliviadas a los sistemas unitarios de saneamiento, así como las escorrentías procedentes de las vías de comunicación, pueden aportar una carga contaminante igual o superior a la de los vertidos urbanos en periodos secos, y concentrada, además, en un espacio de tiempo muy reducido.

³ MAMANI, Wálter; SUÁREZ, Nelly; GARCÍA, Claudia. *Contaminación del agua e impactos por actividad hidrocarburífera en Aguaragüe*. p. 22

2.3.2. Fuentes de contaminación

- Residuos y desechos domésticos: se generan en el hogar a través de diferentes actividades diarias. Contiene material orgánico e inorgánico (fosfatos y nitratos). El mal manejo de estos residuos y desechos llegan a contaminar el cuerpo de agua que está cerca.
- Compuestos agrícolas: se usan en las granjas agrícolas y principalmente en el área rural ya que el cultivo es la actividad principal. Los fertilizantes químicos y los pesticidas contaminan el suelo y cuando hay precipitaciones las escorrentías arrastran estos compuestos a un cuerpo de agua contaminándolo por completo.
- Residuos y desechos industriales: el material de desecho que se produce en las industrias de todo tipo, contiene sustancias nocivas y tóxicas. Algunos de los contaminantes de origen industrial son metales pesados como: plomo, mercurio, nitratos, fosfatos, aceites, entre otros.
- Plástico: los plásticos y otras sustancias similares, como las redes de pesca, son muy peligrosos y atentan contra la vida acuática del cuerpo de agua por largo tiempo ya que no se descompone rápido.
- Contaminación por hidrocarburos: las diferentes actividades y tipos de transporte que se usan en el agua causan grandes contaminaciones. Y mucho más grave es verter directamente petróleo o sus derivados.

La actividad hidrocarburífera impacta directamente a los acuíferos y al agua superficial por las siguientes causas: por la contaminación mediante los desechos que generan los trabajos petroleros, mediante el rebalse de afluentes

de piscinas de desechos, por la mala disposición de las aguas de formación, por los goteos de derrames petroleros o escapes de gases en contacto con el agua, por los afloramientos naturales de hidrocarburos, es decir, por grietas de alineamientos geológicos.⁴

- Contaminantes líquidos: las aguas residuales de origen cualquiera están cargadas de múltiples contaminantes, desde los que son inofensivos hasta los que son de alta peligrosidad. La introducción de estas aguas sin tratamiento es muy frecuente y de hecho en Guatemala no se cuenta con sistemas de tratamiento de aguas residuales, por lo que la mayoría de los cuerpos de agua están contaminadas de una u otra forma, unas más que otras.

Y uno de los cuerpos de agua más contaminados es el río Las Vacas, ya que es el receptor de las aguas residuales sin tratamiento de casas, industrias, comercios, entre otros.

2.4. Índices de calidad

Aunque la definición de calidad del agua no es un término absoluto, sino que depende del uso al que esta se destine, de forma general pueden compararse tipos de agua de distinta procedencia y establecer, entre ellas, diferentes grados de calidad. Es corriente la utilización de parámetros fisicoquímicos, de forma aislada, como indicadores. Estos índices proporcionan un valor numérico que, posteriormente, se relaciona con una determinada calidad de agua.

⁴ MAMANI, Wálter; SUÁREZ, Nelly; GARCÍA, Claudia. *Contaminación del agua e impactos por actividad hidrocarburífera en Aguaragüe*. p. 23

Por otra parte, la alteración de las características hidroquímicas del agua se manifiesta en las comunidades de organismos. Las especies allí presentes responderán biológicamente (indicadores) a la amplitud de rango de los diferentes parámetros fisicoquímicos y la comunidad en su conjunto presentará una estructura diferente en función de los valores que tomen las variables del medio.

El empleo de índices biológicos más o menos elaborados y complejos puede ayudar a detectar los cambios globales en la calidad del agua.

2.4.1. Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA)

Este índice permite asignar un valor a la calidad del agua utilizando un número limitado de parámetros. Tiene la ventaja de ser fácil y proporcionar una idea rápida e intuitiva de la calidad, pero es arbitrario y puede inducir a error debido a su reduccionismo. Si se utilizan otros índices complementarios se tiene una idea más adecuada y completa de la calidad.

Se obtiene a partir de una ecuación que combina 5 parámetros fisicoquímicos: temperatura, DQO, sólidos totales en suspensión, oxígeno disuelto y conductividad. El ISQA tiene valores entre 0 (calidad mínima) y 100 (calidad máxima).

2.4.1.1. Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes porque se relaciona con la actividad biológica, el grado de saturación de oxígeno disuelto, la precipitación de compuestos, la floculación, sedimentación, filtración, entre otros. La temperatura del agua es afectada principalmente por factores

ambientales y, por lo tanto, es un dato necesario para determinar la calidad del agua.

2.4.1.2. Conductividad

La conductividad es la medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición.

Las soluciones de la mayor parte de los compuestos inorgánicos son buenas conductoras. Las moléculas orgánicas, al no disociarse en el agua, conducen la corriente en muy baja escala. Para la determinación de la conductividad la medida física hecha en el laboratorio es la resistencia, en ohmios o megaohmios.

La conductividad es el inverso de la resistencia específica y se expresa en micromho por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$), equivalentes a microsiemens por centímetro ($\mu\text{S/cm}$) o milisiemens por centímetro (mS/cm) en el Sistema Internacional de Unidades.

2.4.1.3. Oxígeno disuelto

Pineda lo determina de la siguiente manera:

Se define con la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, expresado en miligramos de oxígeno por litro de agua. Los niveles de oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del

sistema de aguas. Además de la temperatura, la presión y la altura sobre el nivel del mar.⁵

2.4.1.4. Sólidos totales en suspensión

También llamado residuo no filtrable o material no disuelto. Corresponden a los sólidos presentes en agua residual, exceptuando los sólidos solubles y los que tienen un fino estado coloidal. Son considerados como sólidos suspendidos, aquellos sólidos cuyo tamaño es superior a un micrómetro y son retenidos mediante filtración.

2.4.1.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Corresponde a la cantidad de oxígeno necesario para oxidar materia orgánica e inorgánica sin que exista la intervención de organismos vivos, es decir, un parámetro analítico de polución que mide la cantidad de material orgánico en una cantidad de agua, mediante la oxidación química. En las porciones de agua donde se descargan desechos domésticos o desechos industriales, la cantidad de material orgánico se eleva considerablemente y por lo tanto también la DQO, en comparación con las aguas no contaminadas.

2.4.1.6. Determinación del ISQA

Con los parámetros físicos y químicos: temperatura, DQO, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, según la fórmula:

$$ISQA = E * (A + B + C + D) \quad (\text{Ecuación 1})$$

⁵ PINEDA, Ricardo. *Estandarización de la metodología para el cálculo del índice de calidad de agua en el monitoreo ambiental de la ciudad de Guatemala*. p. 7

Donde:

E = temperatura del agua (T en °C)

A = demanda química orgánica (DQO en mg/L)

B = sólidos totales en suspensión (SST en mg/L)

C = oxígeno disuelto (OD en mg/L)

D = conductividad (CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 18 °C)

Sujetas a las condiciones siguientes:

Tabla I. **Condiciones para el cálculo del ISQA**

E	Si $T \leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$	$E = 1$
	Si $T > 20 \text{ }^\circ\text{C}$	$E = 1 - ((T - 20) * 0,0125)$
A	Si $\text{DQO} \leq 10 \text{ mg/L}$	$A = 30 - \text{DQO}$
	Si $10 \text{ mg/L} < \text{DQO} \leq 60 \text{ mg/L}$	$A = 21 - (0,35 * \text{DQO})$
	Si $\text{DQO} > 60 \text{ mg/L}$	$A = 0$
B	Si $\text{SST} \leq 100 \text{ mg/L}$	$B = 25 - (0,15 * \text{SST})$
	Si $100 \text{ mg/L} < \text{SST} \leq 250 \text{ mg/L}$	$B = 17 - (0,07 * \text{SST})$
	Si $\text{SST} > 250 \text{ mg/L}$	$B = 0$
C	Si $\text{O}_2 < 10 \text{ mg/L}$	$C = 2,5 * \text{O}_2$
	Si $\text{O}_2 \geq 10 \text{ mg/L}$	$C = 25$
D	Si $\text{CE} \leq 4000 \text{ } \mu\text{S}/\text{cm}$	$D = (3,6 - \log \text{CE}) * 15,4$
	Si $\text{CE} > 4000 \text{ } \mu\text{S}/\text{cm}$	$D = 0$

Fuente: elaboración propia.

2.4.1.7. Interpretación del ISQA

La siguiente tabla muestra la interpretación, según la ponderación:

Tabla II. Interpretación de resultados y código de color

Ponderación	Categoría	Descripción	Color
76 – 100	Buena calidad	Libre de contaminación.	Azul
51 – 75	Calidad regular	Contaminación poco apreciable. Tiene capacidad de autodepuración. Ligero color del agua, con espumas y ligera turbidez del agua, no natural.	Verde
26 – 50	Mala calidad	Contaminación apreciable, no tiene capacidad de autodepuración. Con vida acuática y olor.	Amarillo
0 – 25	Pésima calidad	No apta para ningún uso. 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.

2.4.2. Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)

En 1970 se estableció en Inglaterra un índice creado por Armitage, el Biological Monitoring Working Party (BMWP), como un método simple de puntaje para todos los grupos de macroinvertebrados identificados hasta su

nivel de familia y que requiere solo de datos cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con su tolerancia a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles o intolerantes a la contaminación reciben una puntuación alta (máximo 10), en cambio las más tolerantes reciben una puntuación baja (mínimo 1).

La suma de los puntajes de todas las familias en un sitio dado da el puntaje BMWP total. El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (*average score per taxon*), es el puntaje total BMWP dividido por el número de 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 con base 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 mm. Abarca insectos, moluscos, crustáceos, turbelarios y anélidos principalmente.

2.4.2.1. Calidad del agua según criterios del índice biótico

Otra aproximación a la descripción de la calidad del agua es la proporcionada por los índices bióticos. Los organismos o comunidades biológicas de un ecosistema fluvial reflejan las características o condiciones ambientales del sistema del que forman parte. La utilización de estos como bioindicadores responde generalmente a la mayor facilidad y al menor coste de su observación frente al análisis o valoración directa del parámetro que indican.

La principal ventaja de los indicadores biológicos es su capacidad de integrar las variaciones temporales de las condiciones ambientales del medio. Fluctuaciones fuertes puntuales en los parámetros fisicoquímicos del medio pueden pasar inadvertidas en un seguimiento periódico determinado si los valores extremos del factor alterado no coinciden en el tiempo con el momento del muestreo. Los bioindicadores, por su gran diversidad en los ecosistemas fluviales, aparte de no precisar de un coste de calibración y mantenimiento continuos, presentan una gran amplitud de respuestas ante cualquier grado o tipo de alteración en el medio.

Para cuantificar el valor indicador de los organismos, numerosos autores han desarrollado diferentes índices biológicos de calidad del agua, basados en las distintas tolerancias de las especies o comunidades ante los factores contaminantes. A la presencia o ausencia de una especie o familia de organismos acuáticos, así como a su densidad o abundancia, se les asigna un valor de calidad según el parámetro o conjunto de los mismos que se quiera valorar, en función de su grado de tolerancia.

El conjunto global de observaciones de toda la comunidad biológica existente aportará un valor final de calidad según el índice empleado para cada tramo o río estudiado.

Existe una amplia variedad de índices biológicos de calidad del agua para sistemas fluviales, pudiendo establecerse los siguientes grupos:

- Índices de diversidad: basados en las variaciones de la composición específica de las comunidades de organismos y su estructura. En general, a una mayor biodiversidad le corresponde una mejor calidad del agua y

viceversa. Ejemplos de este tipo de índices son los basados en la teoría de la información, como el de Shannon, o el de Margalef 1951.

- Índices sapróbicos: reflejan los efectos de la contaminación por materia orgánica procedente de vertidos urbanos o agrícolas y su grado de descomposición sobre los organismos. Pueden verse distintas aproximaciones en García de Jalón y González del Tánago 1986.
- Índices bióticos: son los más utilizados y se basan en la clasificación de los organismos según su tolerancia a la contaminación, asignándoles una puntuación cuyo rango varía según el índice utilizado. El valor de calidad para el río estudiado resulta de la suma total de los valores de cada organismo presente.

Los más conocidos son el Trent Biotic Index (TBI), el IB, el Biotic Score y el BMWP. De la adaptación de este último a los organismos existentes en la Península Ibérica, resultó el Índice BMWP', según Alba Tercedor y Sánchez-Ortega, siendo el más utilizado en nuestro país actualmente por su sencillez, precisión y eficacia.

2.4.2.2. Macroinvertebrados acuáticos

Méndez los describe de la siguiente manera:

Son bichos que pueden ser vistos a simple vista, ya que miden de 2 mm hasta 30 cm. Entre ellos se incluyen animales como esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos, entre otros. Estos animales proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua, ya que no solo revelan las condiciones ambientales actuales, sino que actúan como reveladores de las condiciones en el tiempo. Como cualquier ser vivo, los macroinvertebrados necesitan de ciertas condiciones acuáticas para poder vivir, algunos de ellos

requieren agua de buena calidad, mientras que otros resisten, crecen y abundan cuando existe contaminación.⁶

2.4.2.2.1. Clasificación de macroinvertebrados acuáticos según hábitat

Los macroinvertebrados acuáticos habitan en diferentes tipos de aguas con movimiento o estancadas, en cada cuerpo de agua existe un tipo específico de hábitat, es decir, que cada cuerpo de agua contiene características específicas que favorecen cierto grupo de organismos. La siguiente clasificación de macroinvertebrados establecida por Gabriel Alfonso Roldán Pérez depende del tipo de ecosistema y de su adaptación:

- Neuston: estos organismos viven sobre la superficie del agua, ya sea caminando, patinando o brincando. Su cuerpo completo (uñas, patas y exoesqueleto) es impermeable, por lo que en vez de hundirse, vence la tensión superficial. Las familias representantes son: *Gerridea*, *Hydrometridae* y *Veliidae*, del orden *Hemiptera*.
- Necton: estos organismos nadan libremente en el cuerpo de agua. Entre las familias representativas están: *Corixidae* y *Notonectidae* del orden *Hemiptera (Heteroptera)*; *Dytiscidae*, *Gyrinidae* e *Hydrophilidae* del orden *Coleoptera* y *Baetidae* del orden *Ephemeroptera*.
- Bentos: estos organismos viven en el fondo y/o enterrados, adheridos a piedras, rocas, troncos, restos de vegetación y otros sustratos o simplemente depositados sobre la superficie del fondo. Los representantes

⁶ MÉNDEZ, Silvia. *Determinación de la influencia de las características fisicoquímicas medidas a través del índice simplificado de calidad del agua (ISQA), sobre la biota medida a través del índice biótico BMWP en la microcuenca del río Contreras del municipio de Guatemala*. p. 14

son: *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera*, *Megaloptera*, *Diptera*, *Mollusca* y algunos *Hemiptera*; además de ciertas especies del orden *Odonata* (*Zygoptera*).

2.4.2.3. Macroinvertebrados como bioindicadores

Los macroinvertebrados son invertebrados que se pueden ver a simple vista o bien que son retenidos por una red de malla de aproximadamente 125 µm. Se definen con base taxonómica. Este grupo tiene representantes en muchos filos de animales, entre ellos: Arthropoda, Mollusca, Annelida, Platyhelminthes, Nematoda y Nematomorpha. Sin embargo, hay que aclarar que varios miembros de estos filos son microscópicos, por lo que se les considera parte de la meiofauna (microcrustáceos y micromoluscos, muchos anélidos y nemátodos, entre otros).⁷

Los grupos de macroinvertebrados que habitan en agua dulce muestran una gran variedad de adaptaciones, incluyendo importantes diferencias en sus ciclos de vida. Algunos grupos pasan todo, o casi todo, su ciclo de vida en el agua. Los macroinvertebrados dulceacuícolas juegan papeles importantes dentro de todos los procesos ecológicos de los sistemas acuáticos.

Energéticamente, las cadenas alimentarias acuáticas se basan en material autóctono producido por las algas o bien material alóctono que entra al sistema acuático desde afuera y los macroinvertebrados son un enlace para poder mover esta energía, controlando así la productividad primaria de los ecosistemas acuáticos.⁸ El uso de macroinvertebrados como indicadores de

⁷ HANSON, Paul; SPRINGER, Monika; RAMÍREZ, Alonso. *Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos*. p. 3

⁸ HANSON, Paul; SPRINGER, Monika; RAMÍREZ, Alonso. *Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos*. p. 10

calidad de agua empezó hace más de 100 años en Europa. Hoy en día, constituye una herramienta muy útil y de relativamente bajo costo, por lo que es ampliamente utilizado en todo el mundo.

A diferencia de los análisis fisicoquímicos, los cuales representan la condición del agua en el momento del muestreo, los indicadores biológicos muestran tendencias a través del tiempo, es decir, se pueden comparar condiciones pasadas y presentes. Sin embargo, es importante utilizar ambos métodos, el fisicoquímico y el biológico, en forma integral, lo cual ya se contempla en la investigación.

2.4.2.4. Interpretación del índice BMWP

Descrita en la siguiente tabla:

Tabla III. Interpretación del índice BMWP y código de color

Clase	Ponderación	Categoría	Descripción	Color
I	Mayor o igual a 101	Buena calidad	Libre de contaminación sin alteraciones.	Azul
II	61 – 100	Calidad aceptable	Casi libre de contaminación.	Verde
III	36 – 60	Calidad dudosa	Aguas contaminadas.	Amarillo
IV	16 – 35	Calidad deficiente (crítica)	Muy contaminadas, no tiene capacidad de autodepuración.	Naranja
V	Menor o igual a 15	Mala calidad (muy crítica)	No apta para ningún uso. Fuertemente contaminadas.	Rojo

Fuente: ALBA, Javier. *Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos*. p.

2.4.2.5. Modificaciones del índice BMWP

Debido a la fácil aplicación del índice, existen varias modificaciones, para efectos de este estudio se mencionarán las realizadas en países hispanoamericanos. La primera de las más importantes es el IMBWP (Iberian Biological Monitoring Working Party, antes llamado BMWP), índice, como su nombre lo indica, aplicable para los cuerpos de agua en la península ibérica. Fue creado por Javier Alba Tercedor, y hasta la fecha se han realizado una buena cantidad 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 denominado en algunos textos BMWP-R (BMWP modificado para Antioquía, Colombia). Asimismo, existen otros índices modificados, utilizados en Chile y Ecuador, como el de Zúñiga de Cardoso. En Centroamérica se han realizado estudios similares, sin embargo, existen solamente dos métodos modificados para la zona. El primero es el método para El Salvador, y el segundo el método BMWP modificado para Costa Rica.

2.4.2.5.1. Índice BMWP-CR

El BMWP-CR es una modificación realizada por Astorga, Martínez, Springer y Flowers para Costa Rica que funciona exactamente de la misma forma que el BMWP original.

Tabla IV. **Clasificación y puntajes de macroinvertebrados**

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

Continuación de la tabla IV.

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

Fuente: Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica. *Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales*, decreto No. 33903-MINAE-S.p.

16.

2.5. Río Las Vacas

Se ha desarrollado como uno de los mayores desagües de aguas servidas de la ciudad de Guatemala, está altamente contaminado. El río Las Vacas contiene poca vida acuática y contribuye a la contaminación del río Motagua y

del ecosistema marino en el golfo territorial de Honduras. La corriente se forma con la unión del río Chixoy (río Negro) y el riachuelo Santa Rosita, su trayecto es al este de la ciudad capital y el noreste de la aldea Santa Rosita.

Hace la función de límite territorial, dentro de la ciudad capital, entre las zonas 17, 5, 6 y 18, además de que atraviesa otros poblados hasta llegar a desembocar al río Motagua.

Figura 1. **Ubicación del río Las Vacas dentro del municipio de Guatemala**



Fuente: elaboración propia, empleando Qgis.

2.6. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006

El Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, A.G. No. 236-2006, tiene como objeto (artículo 1) lo siguiente:

Establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. Lo anterior para que, a través del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre establecer un proceso continuo que permita:

- Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.
- Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.
- Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

También es objeto del reglamento establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico, A.G. No. 236-2006.

En este reglamento se encuentran tablas donde se indican los límites máximos permisibles de sustancias o elementos contaminantes que se encuentran en las aguas residuales. El reglamento aplica para todos los fuentes generadores de aguas residuales.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

El estudio de investigación sobre el río Las Vacas se realizó con las siguientes variables:

3.1.1. Variables independientes

- Dos puntos de muestreo
 - Parte alta: intersección de la Calzada la Paz con el Bulevar Lourdes entre las zonas 5 y 16.
 - Parte baja: Puente Belice entre las zonas 6 y 17.

- Épocas del año
 - Época seca
 - Época lluviosa

3.1.2. Variables dependientes

Parámetros de medición:

- Variedad taxonómica (NA)
- Número de macroinvertebrados (NA)
- Puntuación de macroinvertebrados (NA)

- Temperatura (°C)
- Demanda química de oxígeno (mg/L)
- Oxígeno disuelto (mg/L)
- Sólidos totales suspendidos (mg/L)
- Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Índices de calidad:

- Fisicoquímico: Índice Simplificado de Calidad del Agua (NA)
- Biológico: índice biótico BMWP (NA)
- Calidad del agua (NA)

3.2. Delimitación de campo de estudio

El estudio del río Las Vacas se realizó en el Municipio de Guatemala, entre las zonas 5, 6, 16 y 17, específicamente en los puntos: intersección de la Calzada la Paz con el Bulevar Lourdes (parte alta) y el Puente Belice (Parte baja). Se realizó en época seca y época lluviosa para conocer el comportamiento de la calidad del río en diferentes estaciones.

En cada época se realizaron 10 unidades experimentales, 5 en cada punto de muestreo, cada unidad experimental consta de la determinación, del índice ISQA y del índice BMWP.

Con los resultados se realizó una comparación con correlaciones entre ambos índices para establecer el comportamiento de la calidad del río Las Vacas y la existencia de influencia estacional.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Br. Crispy Laméc Bocel Castro
- Asesor: Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

3.4. Recursos materiales disponibles

- Equipos para toma de muestras
 - Personal
 - Gafas protectoras
 - Botas de hule
 - Guantes de látex
 - Mascarilla
 - Para muestreo
 - Recipiente esterilizado de plástico con tapa de 1 litro.
 - Recipiente esterilizado de plástico con tapa para muestra de macroinvertebrados.
 - Red de muestreo tipo D (cedazo de 1 mm).
 - Pinzas.
 - Dispositivo GPS.
 - Multiparamétrico.
 - Estereoscopio o lupa.
 - Hojas de campo.
 - Hielera o recipiente para transporte de muestras.

- Cristalería y equipo de laboratorio
 - Probeta
 - Pipeta
 - Kitasato
 - Manguera
 - Bomba de vacío
 - Horno de secado
 - Balanza analítica
 - Deshumidificador
 - Medidor de oxígeno disuelto
 - Conductímetro
 - *Beacker*
 - Espectrofotómetro
 - Termoreactor
 - Termómetro
 - Tubo de ensayo
 - Caja de petri

- Reactivos e insumos
 - Filtros para análisis de sólidos en suspensión (45 mm)
 - Reactivos para DQO
 - Agua destilada
 - Alcohol etílico al 70%
 - Glicerina

3.5. Técnica cuantitativa y cualitativa

Se explica a continuación:

3.5.1. Técnica cuantitativa

Una parte del estudio es cuantitativa debido a que se miden parámetros fisicoquímicos con los cuales se calcula el ISQA y la contabilización de especies biológicas se representa numéricamente, puede situarse en los diferentes intervalos de puntuación.

3.5.2. Técnica cualitativa

Los resultados numéricos obtenidos en la parte cuantitativa se interpretan cualitativamente para la descripción del estado del río que puede ser de muy buena calidad con características muy favorables, hasta un estado de mala calidad indicando así una alta contaminación.

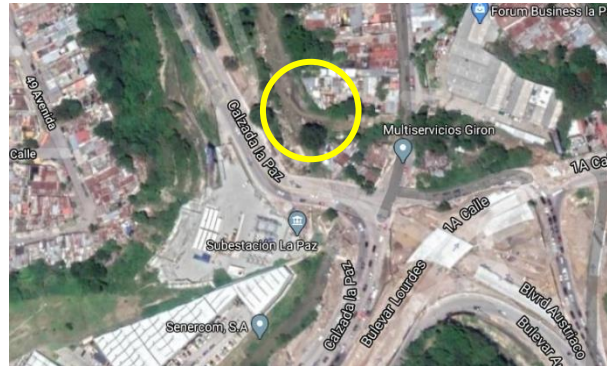
Conjuntamente con esto también se representa con colores establecidos según el estado del río, para una fácil y rápida visualización y entendimiento de los resultados.

3.6. Procedimiento experimental

- Ubicación de los puntos de muestreo

Intersección de la Calzada la Paz con el Bulevar Lourdes (parte alta) ubicado entre las zonas 5 y 16, y coordenadas: 14,629, -90,486. Puente Belice (parte baja), ubicado entre las zonas 6 y 17, y coordenadas: 14,648, -90,487.

Figura 2. **Ubicación de punto de muestreo parte alta**



Fuente: Google Maps. *Ubicación de punto de muestreo parte alta*. <https://www.google.com.gt/maps/@14.6291315,-90.4860895,366m/data=!3m1!1e3>.
Consulta: febrero de 2020.

Figura 3. **Ubicación de punto de muestreo parte baja**



Fuente: Google Maps. *Ubicación de punto de muestreo parte baja*. <https://www.google.com.gt/maps/@14.6476873,-90.4869131,225m/data=!3m1!1e3>.
Consulta: febrero de 2020.

- Preparación de material y equipo de muestreo

Recipientes completamente esterilizados y fuera del alcance de cualquier tipo de contaminación y revisión de material y equipo completo.

- Toma de muestras

El tramo del río debe estar lo más tranquilo posible sin perturbaciones recientes. Uso de equipo de protección personal completo.

- Muestra para el ISQA: la muestra se toma a contracorriente y el recipiente se sumerge a una profundidad entre quince y treinta centímetros, este procedimiento se repite por lo menos tres veces para homogenizar las paredes del recipiente. Los recipientes se sellan muy bien para evitar alteraciones. Se miden los parámetros *in situ*, tomando notas necesarias.
- Muestra para el BMWP: la red (tipo D) se establece a contracorriente, tomándola en posición vertical y por la parte más alta del agarradero; el fondo del río debe hacer contacto con la red para la recolección completa de los macroinvertebrados. Se inspecciona detenidamente la red y se depositan en un recipiente, que contiene alcohol y glicerina, todos los macroinvertebrados encontrados. Se sellan correctamente los recipientes.

- Identificación de muestras

Todos los recipientes son etiquetados e identificados con la siguiente información:

- Fecha y hora de muestreo
 - Punto de muestreo
 - Observaciones
 - Número de muestra
 - Nombre de la persona que realiza el muestreo
- Manejo de muestras

Las muestras se colocan en una hielera, o bien, en un sistema similar para una mejor conservación de las características.

El tiempo que transcurre después del muestreo hasta el análisis no debe ser muy largo, así como un traslado sin movimientos demasiado bruscos para mejores resultados.

- Análisis de las muestras

Para los parámetros fisicoquímicos, el análisis fue realizado por el Laboratorio Unificado de Química y Microbiológico Sanitaria Dra. Alba Tabarini. Con estos datos y los del multiparamétrico se calcula el índice ISQA.

El análisis de los macroinvertebrados se realiza con guías taxonómicas, lupa y/o estereoscopio según sea el caso, clasificándolos por orden y familia ponderadas específicamente.

3.7. Recolección y ordenamiento de la información

La información recolectada se presenta en los siguientes puntos:

- Época seca

Muestreo 1: realizado el 07 / 03 / 2018.

Tabla V. **Datos fisicoquímicos de semana 1**

Parámetros	Parte alta	Parte baja
Temperatura (°C)	23,08	21,24
DQO (mg/L)	10	60
S. suspendidos (mg/L)	1,70	366
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,43	0,35
Conductividad (µS/cm)	630	748,80

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Datos biológicos de semana 1**

No.	Orden	Familia	Parte alta	Parte baja
1	Diptera	Syrphidae	-	✓
2	Diptera	Chironomidae	✓	✓
3	Diptera	Psychodidae	✓	✓
4	Diptera	Muscidae	✓	✓
5	Annelida Haplotaxida	Oligochatea Tubificidae	✓	✓

Fuente: elaboración propia.

Muestreo 2: realizado el 14 / 03 / 2018.

Tabla VII. **Datos fisicoquímicos de semana 2**

Parámetros	Parte alta	Parte baja
Temperatura (°C)	21,71	21,45
DQO (mg/L)	160	159
S. suspendidos (mg/L)	110	64
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,27	0,34
Conductividad (µS/cm)	636,10	801,50

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Datos biológicos de semana 2**

No.	Orden	Familia	Parte alta	Parte baja
1	Annelida Haplotaxida	Oligochatea Tubificidae	✓	-
2	Diptera	Chironomidae	✓	✓
3	Diptera	Psychodidae	✓	✓
4	Diptera	Muscidae	✓	-
5	Diptera	Syrphidae	✓	✓

Fuente: elaboración propia.

Muestreo 3: realizado el 21 / 03 / 2018.

Tabla IX. **Datos fisicoquímicos de semana 3**

Parámetros	Parte alta	Parte baja
Temperatura (°C)	24,27	23,56
DQO (mg/L)	149	191
S. suspendidos (mg/L)	156	110
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,36	0,39
Conductividad (µS/cm)	665,50	742,70

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Datos biológicos de semana 3**

No.	Orden	Familia	Parte alta	Parte baja
1	Diptera	Chironomidae	✓	✓
2	Diptera	Psychodidae	✓	✓
3	Diptera	Muscidae	✓	✓

Fuente: elaboración propia.

Muestreo 4: 04 / 04 / 2018.

Tabla XI. **Datos fisicoquímicos de semana 4**

Parámetros	Parte alta	Parte baja
Temperatura (°C)	23,74	23,23
DQO (mg/L)	148	191
S. suspendidos (mg/L)	162	178
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,48	0,66
Conductividad (µS/cm)	559,80	706,80

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Datos biológicos de semana 4**

No.	Orden	Familia	Parte alta	Parte baja
1	Diptera	Syrphidae	-	✓
2	Diptera	Chironomidae	✓	✓
3	Diptera	Psychodidae	✓	✓
4	Annelida Haplotaxida	Oligochatea Tubificidae	✓	-
5	Diptera	Muscidae	✓	✓

Fuente: elaboración propia.

Muestreo 5: realizado el 18 / 04 / 2018.

Tabla XIII. **Datos fisicoquímicos de semana 5**

Parámetros	Parte alta	Parte baja
Temperatura (°C)	22,07	21,57
DQO (mg/L)	238	195
S. suspendidos (mg/L)	71	10
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,52	0,78
Conductividad (µS/cm)	665,69	764,82

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Datos biológicos de semana 5**

No.	Orden	Familia	Parte alta	Parte baja
1	Diptera	Syrphidae	✓	-
2	Diptera	Chironomidae	✓	✓
3	Diptera	Psychodidae	✓	✓
4	Diptera	Muscidae	✓	✓
5	Mollusca Basommatophora	Lymnaeidae	✓	-

Fuente: elaboración propia.

- Época lluviosa

Muestreo 6: realizado el 18 / 07 / 2018.

Tabla XV. **Datos fisicoquímicos de semana 1**

Parámetros	Parte alta	Parte baja
Temperatura (°C)	21,52	22
DQO (mg/L)	198	172
S. suspendidos (mg/L)	114	66
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,22	0,23
Conductividad (µS/cm)	606	716,40

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Datos biológicos de semana 1**

No.	Orden	Familia	Parte alta	Parte baja
1	Diptera	Psychodidae	✓	✓
2	Diptera	Chironomidae	✓	✓
3	Diptera	Muscidae	✓	-

Fuente: elaboración propia.

Muestreo 7: realizado el 25 / 07 / 2018.

Tabla XVII. **Datos fisicoquímicos de semana 2**

Parámetros	Parte alta	Parte baja
Temperatura (°C)	22,38	22,90
DQO (mg/L)	185	238
S. suspendidos (mg/L)	92	134
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,31	0,26
Conductividad (µS/cm)	612,70	657,30

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Datos biológicos de semana 2**

No.	Orden	Familia	Parte alta	Parte baja
1	Diptera	Chironomidae	✓	✓
2	Diptera	Psychodidae	✓	✓
3	Diptera	Muscidae	✓	-
4	Diptera	Syrphidae	-	✓

Fuente: elaboración propia.

Muestreo 8: realizado el 01 / 08 / 2018.

Tabla XIX. **Datos fisicoquímicos de semana 3**

Parámetros	Parte alta	Parte baja
Temperatura (°C)	22,58	22,83
DQO (mg/L)	132	220
S. suspendidos (mg/L)	41	160
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,38	0,33
Conductividad (µS/cm)	462,40	559

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Datos biológicos de semana 3**

No.	Orden	Familia	Parte alta	Parte baja
1	Diptera	Chironomidae	✓	✓
2	Diptera	Psychodidae	✓	✓
3	Diptera	Syrphidae	-	✓
4	Diptera	Muscidae	-	✓
5	Mollusca Basommatophora	Planorbidae	-	✓

Fuente: elaboración propia.

Muestreo 9: realizado el 08 / 08 / 2018.

Tabla XXI. **Datos fisicoquímicos de semana 4**

Parámetros	Parte alta	Parte baja
Temperatura (°C)	21,30	21,97
DQO (mg/L)	84	102
S. suspendidos (mg/L)	26	49
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,34	0,34
Conductividad (μS/cm)	539,13	621,80

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Datos biológicos de semana 4**

No.	Orden	Familia	Parte alta	Parte baja
1	Diptera	Chironomidae	✓	✓
2	Diptera	Psychodidae	✓	✓

Fuente: elaboración propia.

Muestreo 10: realizado el 14 / 08 / 2018.

Tabla XXIII. **Datos fisicoquímicos de semana 5**

Parámetros	Parte alta	Parte baja
Temperatura (°C)	21,08	22,34
DQO (mg/L)	14	88
S. suspendidos (mg/L)	23	79
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,36	0,33
Conductividad (μS/cm)	324,80	509,30

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Datos biológicos de semana 5**

No.	Orden	Familia	Parte alta	Parte baja
1	Diptera	Chironomidae	✓	✓
2	Diptera	Psychodidae	✓	✓

Fuente: elaboración propia.

3.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los datos presentados en las siguientes tablas son el promedio de las 5 muestras de cada época.

- Época seca

Las tablas siguientes muestran los datos para cada índice:

Tabla XXV. **Datos para el cálculo del ISQA**

Parámetro	Promedio	
	Parte alta	Parte baja
Temperatura (°C)	22,98	22,21
DQO (mg/L)	141	159,20
S. suspendidos (mg/L)	100,14	145,60
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,41	0,50
Conductividad (µS/cm)	631,42	752,92

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Datos de macroinvertebrados y su puntuación para el cálculo del BMWP**

Orden	Familia	Puntuación	Parte alta	Parte baja
Diptera	Syrphidae	1	✓	✓

Continuación de la tabla XXVI.

Diptera	Chironomidae	2	✓	✓
Diptera	Psychodidae	3	✓	✓
Diptera	Muscidae	4	✓	✓
Annelida Haplotaxida	Oligochatea Tubificidae	1	✓	✓
Mollusca Basommatophora	Lymnaeidae	3	✓	-

Fuente: elaboración propia.

- Época lluviosa

Las tablas siguientes muestran los datos para cada índice:

Tabla XXVII. **Datos para el cálculo del ISQA**

Parámetro	Promedio	
	Parte alta	Parte baja
Temperatura (°C)	21,77	22,41
DQO (mg/L)	122,60	164
S. suspendidos (mg/L)	59,20	97,60
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,32	0,30
Conductividad (µS/cm)	509,01	612,76

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Datos de macroinvertebrados y su puntuación para el cálculo del BMWP**

Orden	Familia	Puntuación	Parte alta	Parte baja
Diptera	Psychodidae	3	✓	✓
Diptera	Chironomidae	2	✓	✓
Diptera	Muscidae	4	✓	✓
Diptera	Syrphidae	1	-	✓
Mollusca Basommatophora	Planorbidae	3	-	✓

Fuente: elaboración propia.

3.9. Análisis estadístico

Se describe en los siguientes aspectos:

- Diseño experimental

El estudio de investigación consta de 4 tratamientos: 2 en época seca, uno en cada punto de muestreo y 2 en época lluviosa, de la misma forma que en la época seca, uno en cada punto de muestreo. Se realizaron 5 repeticiones en cada punto, por lo que en total fueron 20 unidades experimentales.

- Cálculo del ISQA

Se determina con la ecuación 1. Las variables están condicionadas a la tabla I, donde también se indica la ecuación que se debe utilizar, según el valor del parámetro.

- Media aritmética

La media aritmética es el promedio de un conjunto de datos. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

X = media

N = número de datos

$\sum_{i=1}^n x_i$ = sumatoria de valores

3.10. Plan de análisis de los resultados

- Para el cálculo del ISQA
 - E: puede tomar valores comprendidos entre 0,8 y 1.
 - A: según la oxidabilidad al permanganato (DQO-Mn), puede tomar valores comprendidos entre 0 y 30.
 - B: puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25.
 - C: puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25.
 - D: puede tomar valores comprendidos entre 0 y 20. Si la conductividad es medida a 25 °C, para obtener la conversión a 18 °C se multiplica por 0,86.

Tabla XXIX. **Datos calculados con las condiciones de la tabla I para el cálculo del ISQA (ecuación 1)**

Época seca			
Parámetro	Variable	Parte del río	
		Alta	Baja
T (°C)	E	0,96	0,97
DQO (mg/L)	A	0	0
S. S. (mg/L)	B	9,99	6,81
O. D. (mg/L)	C	1,03	1,26
CE (mg/L)	D	13,32	12,15
Época lluviosa			
Parámetro	Variable	Parte del río	
		Alta	Baja
T (°C)	E	0,98	0,97
DQO (mg/L)	A	0	0
S. S. (mg/L)	B	16,12	10,36
O. D. (mg/L)	C	0,81	0,75
CE (mg/L)	D	14,77	13,52

Fuente: elaboración propia.

- Comparación y correlación

Se realizó una comparación con correlación entre los resultados de cada índice en cada época.

Tabla XXX. **Datos utilizados para la elaboración de la figura 4**

Semana	Época seca		Época lluviosa	
	BMWP	ISQA	BMWP	ISQA
1	11	25,87	9	24,53
2	11	24,66	10	22,33
3	9	20,18	13	24,73
4	11	18,97	5	33,41
5	13	32,29	5	36,67

Fuente: elaboración propia.

Se determinó el comportamiento de la calidad del agua y se estableció el tipo de influencia estacional.

4. RESULTADOS

La información de las siguientes tablas muestran los resultados sobre la calidad del río:

Tabla XXXI. **Calidad del agua del río Las Vacas por medio del índice biótico BMWP**

Época seca			
Parte del río	BMWP	Color	Calidad
Alta	14	Rojo	Mala calidad
Baja	11	Rojo	Mala calidad
Época lluviosa			
Parte del río	BWMP	Color	Calidad
Alta	09	Rojo	Mala calidad
Baja	13	Rojo	Mala calidad

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Calidad del agua del río Las Vacas por medio del índice fisicoquímico ISQA**

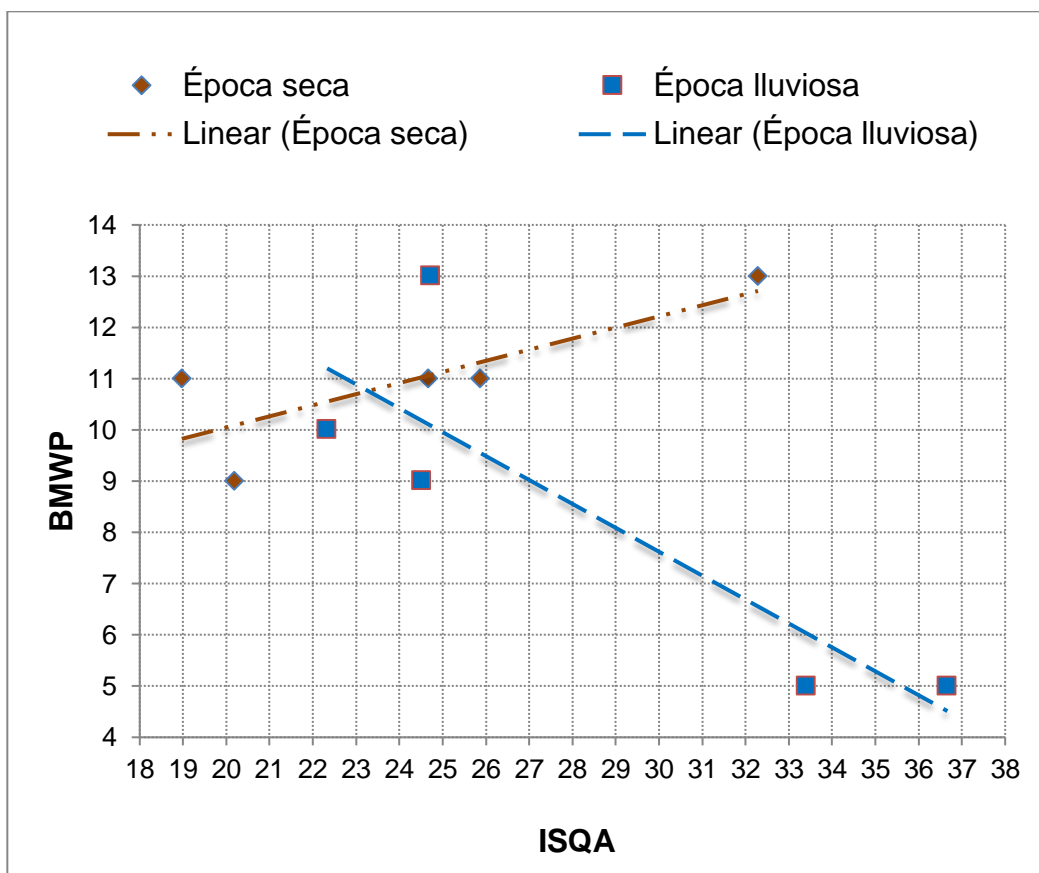
Época seca			
Parte del río	ISQA	Color	Calidad
Alta	23,44	Rojo	Pésima calidad
Baja	19,65	Rojo	Pésima calidad

Continuación de la tabla XXXII.

Época lluviosa			
Parte del río	ISQA	Color	Calidad
Alta	30,99	Amarillo	Mala calidad
Baja	23,89	Rojo	Pésima calidad

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Comparación del índice ISQA con el índice BMWP por época



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Modelo matemático y coeficiente de correlación**

Época	Modelo matemático	R²	R
Seca	$y = 0,216x + 5,711$	0,656	0,8099
Lluviosa	$y = -0,466x + 21,62$	0,732	0,8556

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Influencia estacional sobre el río Las Vacas**

Parte del río	Época	ISQA	BMWP
Alta	Seca	23,44	14
	Lluviosa	30,99	9
Tipo de mejora		Buena	Mala
Parte del río	Época	ISQA	BMWP
Baja	Seca	19,65	11
	Lluviosa	23,89	13
Tipo de mejora		Buena	Buena

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La calidad del río Las Vacas se presenta en las tablas XXXI y XXXII que contienen los resultados determinados por el índice BMWP y el índice ISQA, respectivamente, para la época seca y la época lluviosa; en la parte alta del río punto: intersección de la Calzada la Paz con el Bulevar Lourdes y en la parte baja punto: Puente Belice.

En la tabla XXXI se describen los resultados obtenidos por medio del índice BMWP. La puntuación de la parte alta del río, en época seca, fue de 14, y de la parte baja, en la misma época, fue de 11, describiendo al río Las Vacas con el color rojo y no apto para ningún uso ya que está fuertemente contaminado. Para la época lluviosa se obtuvo una puntuación de 9 en la parte alta y de 13 en la parte baja, por lo tanto la descripción es la misma, es decir, color rojo y no apto para ningún uso, debido a que está fuertemente contaminado. Tanto en la época seca como en la lluviosa la descripción fue la misma, por lo que el río es de mala calidad en ambas épocas del año.

En total se identificaron 3 tipos de orden y 7 familias de macroinvertebrados, estas familias tienen una puntuación que va del 1 al 4, debido a que son muy resistentes a la contaminación. Las familias Syrphidae, Chironomidae, Psychodidae y Muscidae pertenecen al orden Diptera, del orden Annelida – Haplotaxida se encontró la familia Oligochatea – Tubificidae y del orden Mollusca – Basommatophora las familias Lymnaeidae y Planorbidae. Todas estas familias indican que un cuerpo de agua está bastante contaminado y que tal ecosistema no puede albergar una fauna variada, sin embargo,

durante la recolección de muestras en la parte alta del río se encontraron pececitos no mayores a 1,5 cm de largo.

La tabla XXXII presenta los resultados obtenidos con el índice ISQA. En la época seca, en la parte alta se obtuvo un ISQA de 23,44 que se describe con el color rojo y una calidad pésima, esta misma descripción se aplica para la parte baja, ya que el ISQA fue de 19,65, ambos resultados en la época seca indican que son aguas negras con procesos de fermentación y olor, y que no son aptas para ningún uso.

El resultado de la época lluviosa en la parte alta indica que se clasifica con el color amarillo equivalente a una mala calidad, consecuente de que el ISQA fue igual a 30,99, es decir, que la contaminación es apreciable, con olor y sin capacidad de autodepuración pero que cuenta con vida acuática, esta variante en la calidad del agua fue la razón de que se encontraran los pececitos antes mencionados. Ahora bien, la parte baja tuvo un ISQA de 23,89, por lo que es de pésima calidad, no apta para ningún uso, con olor y que es agua negra con procesos de fermentación, clasificándolo así con el color rojo.

En la figura 4 se ilustra la correlación entre ambos índices de calidad para ambas épocas. La correlación en la época seca se define como moderada y débil para la lluviosa. El coeficiente de correlación de la época seca fue de 0,8099, su pendiente positiva indica que mientras más alta sea la puntuación del índice BMWP más alto será el valor del ISQA, para la época lluviosa, en la cual se determinó un coeficiente de correlación de -0,8556 y pendiente negativa, es decir, que si el valor del índice BMWP disminuye el valor del ISQA aumenta. Por lo tanto, entre los índices de calidad no existe una correlación directamente proporcional.

La determinación de la influencia estacional sobre el río Las Vacas la describe la tabla XXXIV, en ella se observa que para la parte alta del río el índice ISQA indica que hay influencia estacional, con una diferencia de 7,55, dato que indica una notable mejora para la época lluviosa, ahora bien no es posible decir lo mismo para el índice BMWP, porque no hubo mejora para la época lluviosa.

Por otro lado, en la parte baja del río se observa una mejora, en ambos índices para la época lluviosa, con una diferencia de 4,24 para el ISQA y 2 para el BMWP.

Esta mejora se debe a que, durante la época seca, el río se alimenta solo de las aguas servidas de la población, en cambio, en la época lluviosa además de las aguas servidas hay una importante aportación de las aguas de lluvia para el río, la dilución de las aguas contaminadas con el agua de lluvia genera una disminución de sustancias contaminantes por litro de agua.

CONCLUSIONES

1. La calidad del agua del río Las Vacas, para ambos puntos de muestreo y ambas épocas, según el índice BMWP, es mala y se clasifica con el color rojo, el cual significa que el agua no es apta para ningún uso y que está fuertemente contaminada.
2. Con el índice ISQA se determinó que la calidad del agua del río Las Vacas en época seca, en ambos puntos de muestreo, conjuntamente con la parte baja de la época lluviosa, es de pésima calidad, es decir, aguas negras no aptas para ningún uso con procesos de fermentación y olor. El punto con un diagnóstico diferente es la parte alta de la época lluviosa ya que el color determinado para tal punto es el amarillo, color asignado para una calidad mala que se describe como una contaminación apreciable, sin capacidad de autodepuración, olor y con vida acuática.
3. La calidad del agua del río Las Vacas es muy deplorable, debido a que a lo largo de los años no se le dio ni se le ha dado algún tipo de mantenimiento adecuado, por lo que, con el paso del tiempo y el crecimiento poblacional, la contaminación es alta y sin mejoras significativas.
4. Entre los índices de calidad no existe una correlación directamente proporcional en función de la época estacional, porque existe un importante aporte fluvial durante el año además de las aguas negras, las cuales crean cambios constantemente.

5. Existe influencia estacional sobre la calidad del agua del río Las Vacas, ya que el nivel del agua aumenta por las aguas de lluvia, efectuando así la dilución de las concentraciones de las sustancias habidas en el río, mientras que en la época seca solo se drenan las aguas residuales.

RECOMENDACIONES

1. Uno de los factores importantes es la posible alteración de las características originales de una muestra, por lo que se pide tomar el mayor número de parámetros *in situ*.
2. Si el cuerpo de agua ha sufrido alteraciones recientes lo mejor es dejar pasar unos días antes de volver al muestreo, esto es para realizar un estudio más certero.
3. Mientras más puntos de muestreo se tiene, el resultado es más específico.
4. La construcción de pequeñas plantas de tratamiento alrededor del río reduciría significativamente la carga de contaminación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Diario de Centro América, 5 de mayo de 2006. 24 p.
2. AJCABUL, Ángel. *Análisis comparativo entre el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) y el índice de calidad del agua (ICA), aplicados al monitoreo de aguas superficiales en el río La Quebrada, El Frutal*. Trabajo de graduación de Ing. Química, Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 76 p.
3. ALONSO, Jorge. *Evaluación de la calidad de las aguas de los arroyos Ca í Puente y Sati de Coronel Bogado con macroinvertebrados como bioindicadores*. Revista sobre Estudios e Investigaciones del Saber Académico, 2015. 12 p.
4. CARRERA, Carlos; FIERRO, Karol. *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Quito, Ecuador: EcoCiencia, 2001. 67 p.
5. Dirección de Planificación Urbana. *Guía de aplicación Plan de Ordenamiento Territorial*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Municipalidad de Guatemala, 2009. 58 p.

6. HANSON, Paul; SPRINGER, Monika; RAMÍREZ, Alonso. *Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos*. 2010. Revista de Biología Tropical, Vol. 58. [en línea]. <<http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v58s4/a01v58s4.pdf>>. [Consulta: septiembre de 2017].
7. HERNÁNDEZ, Bessie; CALLEJAS, Blanca; PÉREZ, Juan. *Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las aguas del río Las Vacas. (Informe de proyecto No. 82-99)*. Guatemala: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad de San Carlos de Guatemala, Línea FODECYT, 2001. 142 p.
8. LEAL, Sara. *Calidad del agua en la cuenca media del río Polochic, Alta Verapaz, mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores*. Trabajo de graduación de Lic. en Acuicultura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, 2016. 82 p.
9. LÓPEZ, Odalis. *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, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 140 p.
10. MÉNDEZ, Silvia. *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, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. 163 p.

11. PINEDA, Ricardo. *Estandarización de la metodología para el cálculo del índice de calidad de agua en el monitoreo ambiental de la ciudad de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 80 p.
12. SARAVIA, Pablo. *Determinación de los índices de calidad del agua (ICA-NSF e ISCA) para consumo humano de los ríos Teocinte y Acatán, que abastecen la planta de tratamiento de agua Santa Luisa zona 16, Guatemala*. Tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Hidráulicos. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 82 p.
13. TERCEDOR, Javier. *Macroinvertebrados acuáticos y calidad de aguas de los ríos. Vol. II*. Granada, España: SIAGA, Departamento de Biología Animal y Ecología, Universidad de Granada, 1996. 213 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**

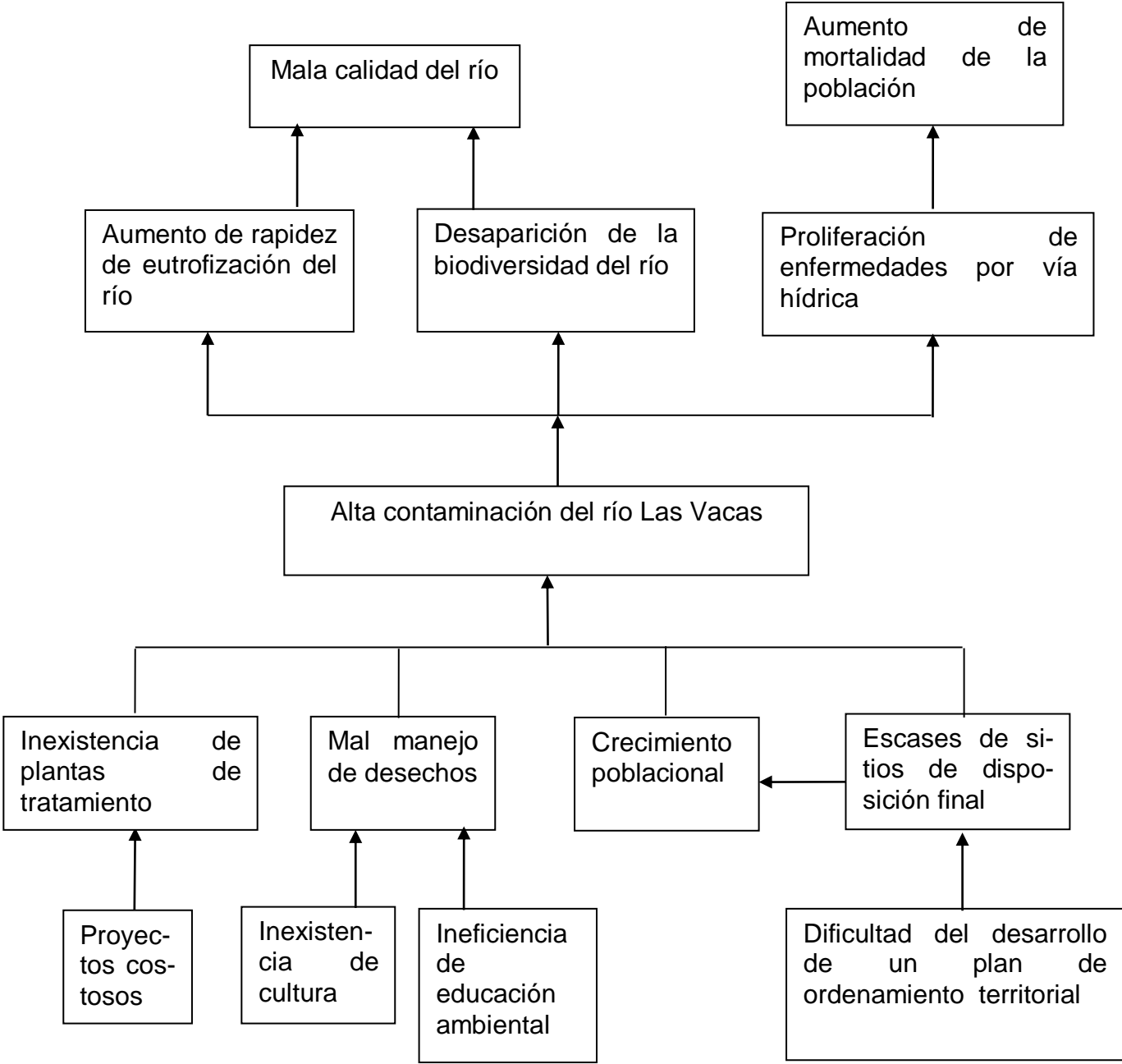
Carrera	Áreas	Cursos	Temas
Ingeniería Ambiental	Ambiental	Manejo de cuencas Climatología Legislación ambiental 1 y 2	Caracterización de cuencas Tipos de climas Leyes y reglamentos relacionadas con el agua
	Química	Microbiología Química ambiental	Clasificación de microorganismos y uso de equipo Componentes de los cuerpos de agua y su comportamiento
	Aguas	Hidrología Calidad del agua	Ciclos del agua Índices de calidad Contaminación del agua

Continuación del apéndice 1.

	Topografía	Topografía 3 Taller de sistemas de información geográfica	Uso de GPS Ubicación geográfica Sistema de información geográfica
	Matemática	Matemáticas	Solución de ecuaciones y gráficas

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Fotografías de macroinvertebrados encontrados**



Fuente: elaboración propia.

ANEXO

Anexo 1. Descripción de la red D

Componentes: agarradero, aro metálico en forma de letra D, cedazo o malla con poro flexible, que cumple las funciones de colador.



Fuente: SERMEÑO, José. *Metodología estandarizada de muestreo multi-hábitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la Red "D" en ríos de El Salvador*. p. 4.

