



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

**CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CANALITOS,
PERTENECIENTE A LA SUBCUENCA RÍO LOS OCOTES, POR MEDIO DEL
ÍNDICE BIÓTICO BMWP-CR Y EL ÍNDICE DE CALIDAD ISQA**

Luis Carlos José Hernández Sosa

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, agosto de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CANALITOS,
PERTENECIENTE A LA SUBCUENCA RÍO LOS OCOTES, POR MEDIO DEL
ÍNDICE BIÓTICO BMWP-CR Y EL ÍNDICE DE CALIDAD ISQA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS CARLOS JOSÉ HERNÁNDEZ SOSA
ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

GUATEMALA, AGOSTO 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

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García (i.a.)
EXAMINADOR	Ing. Pablo Enrique Morales Paniagua
EXAMINADOR	Ing. Walter Arnoldo Bardales Espinoza
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
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:

CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CANALITOS, PERTENECIENTE A LA SUBCUENCA RÍO LOS OCOTES, POR MEDIO DEL ÍNDICE BIÓTICO BMWP-CR Y EL ÍNDICE DE CALIDAD ISQA

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

Luis Carlos José Hernández Sosa

Guatemala 05 de febrero de 2020

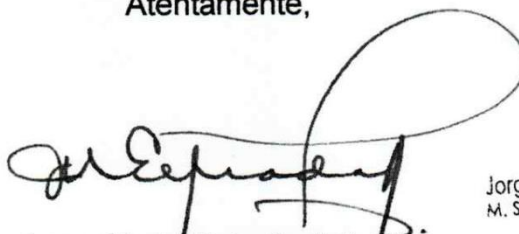
Ingeniero
Williams Álvarez
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: "CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CANALITOS, PERTENECIENTE A LA SUBCUENCA RÍO LOS OCOTES, POR MEDIO DEL ÍNDICE BIÓTICO BMWP-CR Y EL ÍNDICE DE CALIDAD ISQA", elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, Luis Carlos José Hernández Sosa, quien se identifica con el registro académico 2013-14576 y con el CUI 2465 62803 01 01.

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

Atentamente,



Jorge Mario Estrada Asturias

ASESOR

Ingeniero Químico

Colegiado activo no. 685

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



Guatemala, 24 de marzo de 2021.
Ref. EIQ.TG-IF.010.2021.

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **076-2016**, 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: **Luis Carlos José Hernández Sosa**.

Identificado con número de carné: **2465628030101**.

Identificado con registro académico: **201314576**.

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:

CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CANALITOS, PERTENECIENTE A LA SUBCUENCA RÍO LOS OCOTES, POR MEDIO DEL ÍNDICE BIÓTICO BMWP-CR Y EL ÍNDICE DE CALIDAD ISQA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Jorge Mario Estrada Asturias, profesional de la Ingeniería Química

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

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


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



C.c.: archivo



Guatemala, 6 de agosto de 2021.

Ref. EIQ.147.2021

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 **CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CANALITOS, PERTENECIENTE A LA SUBCUENCA RÍO LOS OCOTES, POR MEDIO DEL ÍNDICE BIÓTICO BMWP-CR Y EL ÍNDICE DE CALIDAD ISQA** del(la) estudiante Luis Carlos José Hernández Sosa, 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. Alvarez, M.I.C. 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. 336-2021

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: **CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CANALITOS, PERTENECIENTE A LA SUBCUENCA RÍO LOS OCOTES, POR MEDIO DEL ÍNDICE BIÓTICO BMWP-CR Y EL ÍNDICE DE CALIDAD ISQA**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Carlos José Hernández Sosa**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
★

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, agosto de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Mis padres** Walter Hernández y Lily Sosa. Por su amor y apoyo.
- Mis hermanos** Mario y Juanda Hernández. Por su apoyo durante esta etapa.
- Todos mis amigos** Por estar en las buenas y las malas de la vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis padres	Por formarme como persona, darme la oportunidad de crecer, alcanzar mis metas y permitirme tomar mis decisiones.
Mis hermanos	Por siempre estar ahí.
Mis amigos	En especial a Raúl Jo, Sofía García, Eddy Pérez y Beatriz Dubois por brindarme su amistad y apoyo.
Los padres	Por brindarme siempre su apoyo, amistad y cariño.
The Killer Tomato!	Por las hermosas personas que trajeron a mi vida.
Chiribisco	Por ser parte esencial en la celebración de los logros.
Ing. Jorge Mario Estrada Asturia	Por compartir sus conocimientos y apoyarme en la realización de este proyecto.

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

En especial a la Inga. Beatríz Ramírez y Jhonatan Sican, por darme el apoyo y oportunidad para llevar a cabo este proyecto, por su guía a lo largo de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Delimitación	3
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Conceptos generales.....	9
2.1.1. Recurso hídrico en el mundo	9
2.1.2. Situación del recurso hídrico en Guatemala	11
2.1.2.1. Contaminación.....	11
2.1.3. Ciclo hidrológico	13
2.1.3.1. Procesos del ciclo hidrológico.....	14
2.1.4. Cuenca hidrográfica.....	15
2.1.4.1. Partes de la cuenca	15
2.1.4.2. Subcuenca.....	16
2.1.4.3. Microcuenca	16
2.1.5. Ríos	16
2.1.5.1. Partes que componen un río.....	16

2.1.6.	Contaminación del agua.....	18
2.1.7.	Macroinvertebrados acuáticos.....	19
2.2.	Técnicas de monitoreo de calidad del agua	20
2.2.1.	Definición de un plan de muestreo	21
2.2.2.	Tipo y número de muestras a recolectar y parámetros a determinar	21
2.2.3.	Tipos de muestras.....	21
2.2.3.1.	Muestras puntuales	22
2.2.3.2.	Muestras compuestas	22
2.2.4.	Muestreo en corrientes o descargas	22
2.3.	Índices de calidad del agua.....	23
2.3.1.	Empleo de índices de calidad del agua.....	24
2.3.2.	Índices de calidad con base en las características fisicoquímicas del agua	24
2.3.3.	Índices biológicos de calidad del agua	25
2.4.	Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA)	27
2.4.1.	Parámetros utilizados para el cálculo del ISQA.....	27
2.4.2.	Cálculo del ISQA	28
2.5.	Índice biótico BMWP-CR.....	30
2.5.1.	Clasificación de macroinvertebrados para el uso en el índice BMWP-CR.....	31
2.6.	Caracterización de microcuenca Río Canalitos.....	32
2.6.1.	Aspectos socioeconómicos	33
2.6.1.1.	Demografía.....	33
2.6.1.2.	Servicios básicos.....	35
2.6.1.2.1.	Drenajes de aguas servidas.....	35
2.6.1.2.2.	Energía eléctrica	35
2.6.1.2.3.	Agua potable	35

2.6.2.	Aspectos biofísicos	36
2.6.2.1.	Altitud y topografía	36
2.6.2.2.	Geología y fisiografía	36
2.6.2.3.	Zonas de vida	39
3.	METODOLOGÍA.....	41
3.1.	Variables.....	41
3.1.1.	Variables independientes	41
3.1.2.	Variables dependientes	41
3.2.	Recursos materiales disponibles	43
3.3.	Metodología por utilizar para el muestreo de macroinvertebrados.....	44
3.3.1.	Planificación.....	44
3.3.2.	Preparación del equipo para muestreo	44
3.4.	Procedimiento de muestreo	45
3.5.	Análisis de muestras de macroinvertebrados	45
3.6.	Delimitación del campo de estudio	46
4.	RESULTADOS	47
4.1.	Muestra de cálculo para la determinación del índice físicoquímico ISQA	47
4.1.1.	Cálculo del valor del parámetro E de temperatura..	47
4.1.2.	Cálculo del valor del parámetro A de DQO.....	49
4.1.3.	Cálculo del valor de parámetro B de sólidos suspendidos totales (SST).....	51
4.1.4.	Cálculo del valor del parámetro C de oxígeno disuelto (OD).....	53
4.1.5.	Cálculo del valor del parámetro D de conductividad eléctrica	55

4.1.6.	Tablas resumen para ISQA.....	57
4.2.	Muestra de cálculo para la determinación del índice biótico BMWP-CR.....	59
4.2.1.	Tabla resumen para BMWP-CR.....	64
4.3.	Análisis estadístico de los datos	65
4.4.	Tablas resumen de resultados	72
4.4.1.	Tablas resumen para ISQA	72
4.4.2.	Tablas resumen para índice BMWP-CR	73
4.5.	Correlación entre ISQA e índice biótico BMWP-CR.....	73
4.6.	Determinación del tipo de correlación entre el ISQA y el índice biótico BMWP-CR.....	76
4.7.	Tablas resumen de las variables evaluadas para cada índice utilizado	78
4.8.	Mapas	80
5.	INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	87
	CONCLUSIONES.....	93
	RECOMENDACIONES	95
	BIBLIOGRAFÍA.....	97
	APÉNDICES.....	103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de delimitación de microcuenca Río Canalitos.....	5
2.	Mapa de red de muestreo	6
3.	Partes de la Cuenca.....	7
4.	Cuencas Hidrográficas República de Guatemala.....	12
5.	Ciclo hidrológico	14
6.	Representación de una cuenca hidrográfica	15
7.	Partes del río.....	18
8.	Mapa de centros poblados	34
9.	Curvas de nivel	37
10.	Fisiografía	38
11.	Gráfica de correlación entre ISQA e índice biótico BMWP-CR en época lluviosa	74
12.	Gráfica de correlación entre ISQA e índice biótico BMWP-CR en época seca.....	75
13.	Gráfica de correlación polinómica entre BMWP-CR e ISQA para época seca.....	77
14.	Gráfica de correlación polinómica entre BMWP-CR e ISQA para época lluviosa	78
15.	Partes del Río Canalitos.....	81
16.	Resultados ISQA para la época seca.....	82
17.	Resultados ISQA para época lluviosa.....	83
18.	Resultados BMWP-CR para época seca	84
19.	Resultados BMWP-CR para época lluviosa	85

TABLAS

I.	Distribución del agua en la Tierra	10
II.	Características promedio de las aguas residuales.....	19
III.	Diferencias entre evaluación fisicoquímica y evaluación biológica	24
IV.	Características que debe reunir un grupo biológico para ser utilizado como bioindicador.....	26
V.	Clasificación de la calidad del agua según el ISQA	30
VI.	Calificación de los macroinvertebrados según su sensibilidad	30
VII.	Niveles de calidad de agua según índice BMWP-CR	31
VIII.	Calificación BMWP-CR según familias de macroinvertebrados.....	32
IX.	Parámetro E de temperatura del río Canalitos, época seca	47
X.	Parámetro E de temperatura río Canalitos, época lluviosa	48
XI.	Parámetro A de DQO del río Canalitos, época seca.....	49
XII.	Parámetro A de DQO del río Canalitos, época lluviosa	50
XIII.	Parámetro B de SST del río Canalitos, época seca.....	51
XIV.	Parámetro B de SST del río Canalitos, época lluviosa	52
XV.	Valor del parámetro C de OD de río Canalitos, época seca	53
XVI.	Valor del parámetro C de OD del río Canalitos, época lluviosa	54
XVII.	Valor del parámetro D de conductividad eléctrica del río Canalitos, época seca	55
XVIII.	Valor del parámetro D de conductividad eléctrica del río Canalitos, época lluviosa	56
XIX.	Resultados ISQA en época seca	57
XX.	Resultados ISQA en época lluviosa.....	58
XXI.	Macroinvertebrados encontrados en el primer muestro de época lluviosa	59
XXII.	Macroinvertebrados encontrados en el segundo muestro de época lluviosa.....	59

XXIII.	Macroinvertebrados encontrados en el tercer muestreo de época lluviosa	60
XXIV.	Macroinvertebrados encontrados en el cuarto muestro de época lluviosa	60
XXV.	Macroinvertebrados encontrados en el quinto muestreo de época lluviosa	61
XXVI.	Macroinvertebrados encontrados en el primer muestreo de época seca.....	61
XXVII.	Macroinvertebrados encontrados en el segundo muestreo de época seca.....	62
XXVIII.	Macroinvertebrados encontrados en el tercer muestreo de época seca.....	62
XXIX.	Macroinvertebrados encontrados en el cuarto muestreo de época seca.....	62
XXX.	Macroinvertebrados encontrados en el quinto muestreo de época seca.....	63
XXXI.	Macroinvertebrados encontrados en el quinto muestreo de época seca.....	63
XXXII.	Macroinvertebrados encontrados en el quinto muestreo de época seca.....	63
XXXIII.	Resultados BMWP-CR en época seca.....	64
XXXIV.	Resultados BMWP-CR en época lluviosa	65
XXXV.	Conjunto de resultados ISQA para la parte baja del río Canalitos en época lluviosa	66
XXXVI.	Conjunto de resultados ISQA para la parte media del río Canalitos en época lluviosa	66
XXXVII.	Conjunto de resultados ISQA para la parte alta del río Canalitos en época lluviosa	67
XXXVIII.	Conjunto de resultados ISQA para la parte baja del río Canalitos en época seca.....	67
XXXIX.	Conjunto de resultados ISQA para la parte media del río Canalitos en época seca.....	68
XL.	Conjunto de resultados ISQA para la parte alta del río Canalitos en época seca.....	68

XLI.	Conjunto de resultados ISQA para la parte alta del río Canalitos en época seca	68
XLII.	Conjunto de resultados BMWP-CR para la parte baja del río	
XLIII.	Canalitos en época lluviosa	69
XLIV.	Conjunto de resultados BMWP-CR para la parte media del río	
	Canalitos en época lluviosa	69
XLV.	Conjunto de resultados BMWP-CR para la parte alta del río	
	Canalitos en época lluviosa	70
XLVI.	Conjunto de resultados BMWP-CR para la parte baja del río	
	Canalitos en época seca.....	70
XLVII.	Conjunto de resultados BMWP-CR para la parte media del río	
	Canalitos en época lluviosa	71
XLVIII.	Conjunto de resultados BMWP-CR para la parte alta del río	
	Canalitos en época seca.....	71
XLIX.	Resultados para el ISQA durante época lluviosa.....	72
L.	Resultados para el ISQA durante época seca	72
LI.	Resultados para el índice BMWP-CR durante época lluviosa	73
LII.	Resultados para el índice BMWP-CR durante época lluviosa	73
LIII.	Correlación entre ISQA y BMWP-CR en época lluviosa	74
LIV.	Correlación entre el ISQA y el índice BMWP-CR en época seca	75
LV.	Correlación entre BMWP-CR e ISQA época seca	76
LVI.	Correlación entre BMWP-CR e ISQA época lluviosa.....	77
LVII.	Resumen de las variables promedio evaluadas para época seca	79
LVIII.	Resumen de las variables evaluadas para época lluviosa.....	79

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
DQO	Demanda química de oxígeno
°C	Grados centígrados
BMWP	Índice biótico (<i>biological monitoring working party</i>)
ISQA	Índice simplificado de calidad del agua
µs/cm	Microsiemens por centímetro
mg/l	Miligramo por litro
N/A	No aplica para el estudio realizado
OD	Oxígeno disuelto
SST	Sólidos en suspensión totales
\overline{Cond}	Valor promedio de la conductividad eléctrica
\overline{DQO}	Valor promedio de la demanda química de oxígeno
\overline{OD}	Valor promedio del oxígeno disuelto
\overline{Temp}	Valor promedio de temperatura
\overline{BMWP}	Valor promedio del índice biótico
\overline{ISQA}	Valor promedio del índice ISQA

GLOSARIO

Afluente	Cualquier curso de agua, llamado también tributario, que no llega a desembocar al mar, sino en otro río más importante con el cual se une en un lugar denominado confluencia.
Agua residual cruda	Son aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento. Aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso.
Bioindicador	Es un organismo vivo que se utiliza para evaluar el índice de contaminación de un lugar, regularmente de la atmósfera o del agua.
Biota	Conjunto de seres vivos que habitan en un área determinada.
BMWP	<i>Biological monitoring working party</i> . Índice biológico que da puntuación a 131 familias de macroinvertebrados que son utilizados como indicadores. Es calculado por medio de la sumatoria de las puntuaciones de las familias identificadas.

Cauce	Terreno cóncavo, natural o artificial, por donde corre un cuerpo de agua.
Correlación	Indica una relación recíproca que se da entre dos o más elementos. Estadísticamente, indica la fuerza y la dirección lineal que se establece entre dos o más variables.
Ecosistema	Es una comunidad de seres vivos y no vivos en un área determinada, cuyos procesos están relacionados entre sí.
Eutrofización	Acumulación de residuos orgánicos en el fondo de un cuerpo acuático, que causa proliferación de algas.
GPS	Sistema de posicionamiento global (<i>global positioning system</i>). Sistema global de navegación satelital que permite determinar la posición del usuario en el globo terráqueo por medio de sistemas de coordenadas.
Índice biótico	Puntaje para la clasificación de la calidad del agua de un cauce según la población de seres vivos presentes en el agua.
ISQA	Índice simplificado de calidad del agua. Brinda una clasificación de la calidad del agua a partir de 5 parámetros fisicoquímicos.

Macroinvertebrado	Animales invertebrados como insectos, crustáceos, moluscos, entre otros; los cuales habitan en sistemas de agua dulce, principalmente.
Microcuenca	Unidades pequeñas y, a su vez, son áreas donde se originan quebradas y riachuelos que drenan de las laderas y pendientes altas.
Monitoreo	Observación de una o más variables para llevar un control en los cambios del entorno.
Parámetro	Variables numérica que se considera para el análisis de un tema.
Pupa	Estado por el que pasan algunos insectos para cumplir con la metamorfosis que los lleva de larva a insecto adulto.
Shape	<i>Shapefile</i> . Formato no topológico utilizado para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas.
Taxón	Grupo de organismos emparentados, que en alguna clasificación dada han sido agrupados. Se les asigna un nombre en latín, una descripción (si es una especie), y un tipo.

RESUMEN

El presente estudio se desarrolló en la microcuenca del río Canalitos la subcuenca del río Los Ocotes, dentro del municipio de Guatemala. El objetivo del estudio era caracterizar la calidad del agua que corre por el efluente a través del índice simplificado de calidad del agua (ISQA), por medio de parámetros fisicoquímicos y; por medio del índice biótico BMWP-CR.

Fueron seleccionados tres puntos de muestreo por su accesibilidad y su representatividad, en la parte baja, media y alta del río. Se realizaron dos muestreos en un año; uno correspondiente a la época lluviosa (agosto-octubre) y el segundo correspondiente a la época seca (enero-marzo). Se analizaron los resultados obtenidos en cada muestreo para obtener la puntuación respectiva a cada muestreo y determinar la calidad del agua en el río. Al obtener las puntuaciones, se procedió a establecer una correlación en los resultados para determinar si existía alguna influencia entre los resultados de los índices. Finalmente, se realizaron mapas con un código de colores que representaba la calidad del agua en el punto de muestreo.

Los resultados ISQA obtenidos durante el muestreo demuestran que tanto en la parte alta como en la parte baja del río se tiene una regular calidad del agua; mientras la parte media de la cuenca presenta una mala calidad del agua. Respecto al índice BMWP-CR se obtuvo una mala calidad del agua en los tres puntos del río monitoreados. Estos resultados se obtuvieron tanto en la época seca como en la época lluviosa; aunque en el índice ISQA se observó una mejora en la calidad del agua en la época lluviosa, mientras que en el BMWP-CR no se observó ningún cambio.

OBJETIVOS

General

Determinar la calidad del agua del río Canalitos, perteneciente a la subcuenca los Ocotes, por medio del índice *Biological Monitoring Working Party* adaptado para Costa Rica (BMWP-CR) y el Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA).

Específicos

1. Determinar los parámetros fisicoquímicos en las aguas del río Canalitos necesarios para el cálculo del ISQA.
2. Determinar la diversidad taxonómica de los macroinvertebrados que habitan en el río Canalitos requeridos para el cálculo del BMWP-CR.
3. Determinar si existe una correlación en los resultados de la calidad del agua que se obtengan de los dos índices utilizados.
4. Analizar los resultados obtenidos durante la época seca y la época lluviosa para observar si existe variabilidad.
5. Analizar la calidad del agua en función de las partes del río para identificar focos de contaminación.

6. Representar los índices de calidad biótica y fisicoquímica obtenidos mediante mapas y un código de colores en un sistema de información geográfica.

HIPÓTESIS

Hipótesis de trabajo:

Es posible determinar la calidad del agua del río Canalitos por medio del índice fisicoquímico ISQA y el índice biótico BMWP-CR.

Hipótesis estadísticas:

- H_{01} : los resultados del ISQA señalan que el agua del río Canalitos presenta una buena calidad.
- H_{n1} : los resultados del ISQA señalan que el agua del río Canalitos no presenta una buena calidad.
- H_{02} : los resultados del índice BMWP-CR indican que el agua del río Canalitos presenta una buena calidad.
- H_{n2} : los resultados del índice BMWP-CR indican que el agua del río Canalitos no presenta una buena calidad.
- H_{03} : los índices utilizados demuestran una correlación en sus resultados.
- H_{n3} : los índices utilizados no demuestran una correlación en sus resultados.
- H_{04} : la calidad del agua es la misma en la época seca y en la época lluviosa.
- H_{n4} : la calidad del agua no es la misma en la época seca y en la época lluviosa.
- H_{05} : la calidad del agua se mantiene a lo largo del río.
- H_{n5} : la calidad del agua no se mantiene a lo largo del río.

INTRODUCCIÓN

El río Canalitos se encuentra ubicado entre las zonas 16 y 24 de la ciudad de Guatemala, forma parte de la subcuenca río Los Ocotes, la cual abarca varias zonas de la ciudad capital. El río canalitos nace en la laguna de Lourdes ubicada en la zona 24 de la ciudad. Fluye de sur a norte atravesando varias comunidades. Recibe las aguas del río Monjitas y el río Acatán, posteriormente desemboca en el río Los Ocotes, que finalmente desemboca en el río Motagua. A lo largo de todo este trayecto se encuentran descargas de aguas residuales afectando más la calidad de dichos ríos.

El propósito de la investigación es caracterizar la calidad del agua del río Canalitos, perteneciente a la subcuenca río Los Ocotes, por medio de índices fisicoquímicos (ISQA) y biológicos (BMWP-CR). Los resultados obtenidos se representan de forma gráfica por medio de mapas desarrollados en un sistema de información geográfica SIG. Se realizaron muestreos en época lluviosa y seca para obtener un resultado más acertado de la calidad del agua en el área de estudio. Los muestreos fueron realizados en tres puntos en el río para observar el cambio en la calidad a lo largo de su cauce dependiendo de la topografía.

Actualmente, no se cuenta con una base de datos sobre la calidad del agua en los ríos que corren por la Ciudad de Guatemala. Resulta necesario realizar estudios de la calidad del agua para tomar las medidas de mitigación necesarias y gestionar un mejor control del recurso hídrico.

Por lo anterior se hace necesario preservar los recursos naturales como el agua, por lo que se hace necesario realizar estudios sobre su calidad para así desarrollar una legislación competente a la realidad actual en el tema de agua.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

El agua juega un papel muy importante en las actividades diarias del ser humano, en el ámbito industrial y doméstico, así como en los sistemas naturales. Si bien es un recurso de dominio público, debe contar con una correcta gestión con participación de comunidades, técnicos especializados y personas que tienen el poder de tomar decisiones para su mejor control y aprovechamiento.

El agua es un bien natural de carácter estratégico porque satisface necesidades vitales, es necesaria para la mayor parte de actividades económicas y es indispensable para los procesos ecológicos esenciales. Por tratarse de un bien cuyo comportamiento es espacial y temporalmente irregular, se ha previsto una crisis global del agua, en unos territorios por escasez y en otros por sobreabundancia, lo cual convierte la gestión y gobernanza de este bien natural en un asunto político con proyección regional, continental y global, y por lo tanto de seguridad nacional, toda vez que el Estado de Guatemala debe garantizar a sus habitantes, primero, el acceso al vital recurso y segundo, medidas para protegerlo de los impactos producidos por eventos hídricos extraordinarios.¹

Así como también la Secretaría de Planificación y Programación de la República (SEGEPLAN), considera el agua como un recurso estratégico para el desarrollo del país, pues si bien en términos absolutos se afirma que el país cuenta con recursos hídricos suficientes, crisis por escasez o exceso o contaminación se han vuelto recurrentes durante los últimos años, como lo demuestra abundante evidencia empírica y lo señalan los informes de percepción periódicamente elaborados para el Gobierno.²

Uno de los principales usos que se le da al agua actualmente es la de recepción de desechos, uso altamente nocivo causando un daño ecológico y

¹ Gobierno de Guatemala. *Política Nacional del Agua de Guatemala y su Estrategia*. p. 4.

² Gobierno de la República de Guatemala. *Estrategia para la gestión integrada de los recursos hídricos de Guatemala*. p. 3.

limitando la disponibilidad del recurso en un futuro. La Universidad Rafael Landívar señala:

La calidad del agua es un factor limitante para su utilización, por lo que se hace necesario estimar el efecto de la contaminación sobre el volumen total de agua disponible. En este sentido, se estima que el 80 % del agua de consumo doméstico, de las poblaciones urbanas de más de 2 000 habitantes, regresa contaminada a los cuerpos, esto implica un volumen de 6 m³/seg de agua contaminada descargando a los diferentes cuerpos de agua.³

El índice ISQA fue desarrollado en 1982 por Queralt para las cuencas de Cataluña, España. Este se basó en 5 parámetros fisicoquímicos, y planteó una clasificación de la calidad del agua para 6 usos posibles del recurso según los resultados obtenidos.⁴

El índice BMWP-CR es el índice *Biological Monitoring Working Party* modificado y adaptado para Costa Rica, que se calcula sumando las puntuaciones asignadas a las familias de macroinvertebrados encontradas según su grado de resistencia a la calidad del agua. Debido a la falta de una clasificación para la región de Guatemala se utiliza este índice al ser el más parecido y acertado para la región. Estos estudios han cobrado fama actualmente en Guatemala, aunque siguen siendo muy recientes, por lo que no se cuenta con una clave taxonómica para el territorio guatemalteco.

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) desarrolló en 2013 las normas técnicas NTG/ISO 8689-1 y NTG/ISO 8689-2, *Calidad del agua. Clasificación biológica de los ríos*. En estas normas se especifica la metodología, análisis, y presentación de resultados de calidad del agua mediante índices bióticos.

³ Universidad Rafael Landívar. *Situación del recurso hídrico en Guatemala, documento técnico del perfil ambiental de Guatemala*. p. 5.

⁴ ROS MORENO, Antonio. *Índice simplificado de Calidad del Agua (ISQA)*. <http://www.mailxmail.com/curso-agua-calidad-contaminacion-2-2/indice-simplificado-calidad-aguas-isqa>. Consulta: 25 de mayo de 2020.

El estudio titulado *Determinación de la influencia de las características físicoquímicas medidas a través del índice simplificado de calidad del agua (ISQA)*, sobre la biota medida a través del índice biótico BMWP en la microcuenca del río Contreras del municipio de Guatemala como trabajo de graduación en la Universidad de San Carlos de Guatemala en la carrera de ingeniería ambiental; concluyendo que el río estudiado presentaba una calidad mala en las partes alta y media, y una calidad regular en la parte baja.

En el año 2013, Acuña, elaboró el estudio *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab, Departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*, los índices utilizados fueron el ETP y el BMWP-CR, para la Universidad de San Carlos de Guatemala basándose en las claves taxonómicas de macroinvertebrados en las cuencas de El Salvador. Acuña concluye que los índices utilizados que son para ambientes con alta población biológica no pueden realizarse en el río de estudio por su escasez de indicadores.

En 2014, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de México realizó el *Estudio Técnico-Justificativo de Reserva de Agua de las Cuencas Hidrológicas río Acaponeta 1, río Acaponeta 2, río Cañas 1, río Cañas 2, río Bejuco 1, río Bejuco 2, río Rosa Morada 1y río Rosa Morada 2*. En este estudio se concluye con los principales usos que se le da al agua de dichos ríos y la disponibilidad de dicho recurso.

1.1.1. Delimitación

El presente estudio abarca el monitoreo y análisis de la calidad del agua del río Canalitos por medio del índice simplificado de calidad del agua (ISQA) y el índice biótico BMWP-CR. La microcuenca del río Canalitos pertenece a la

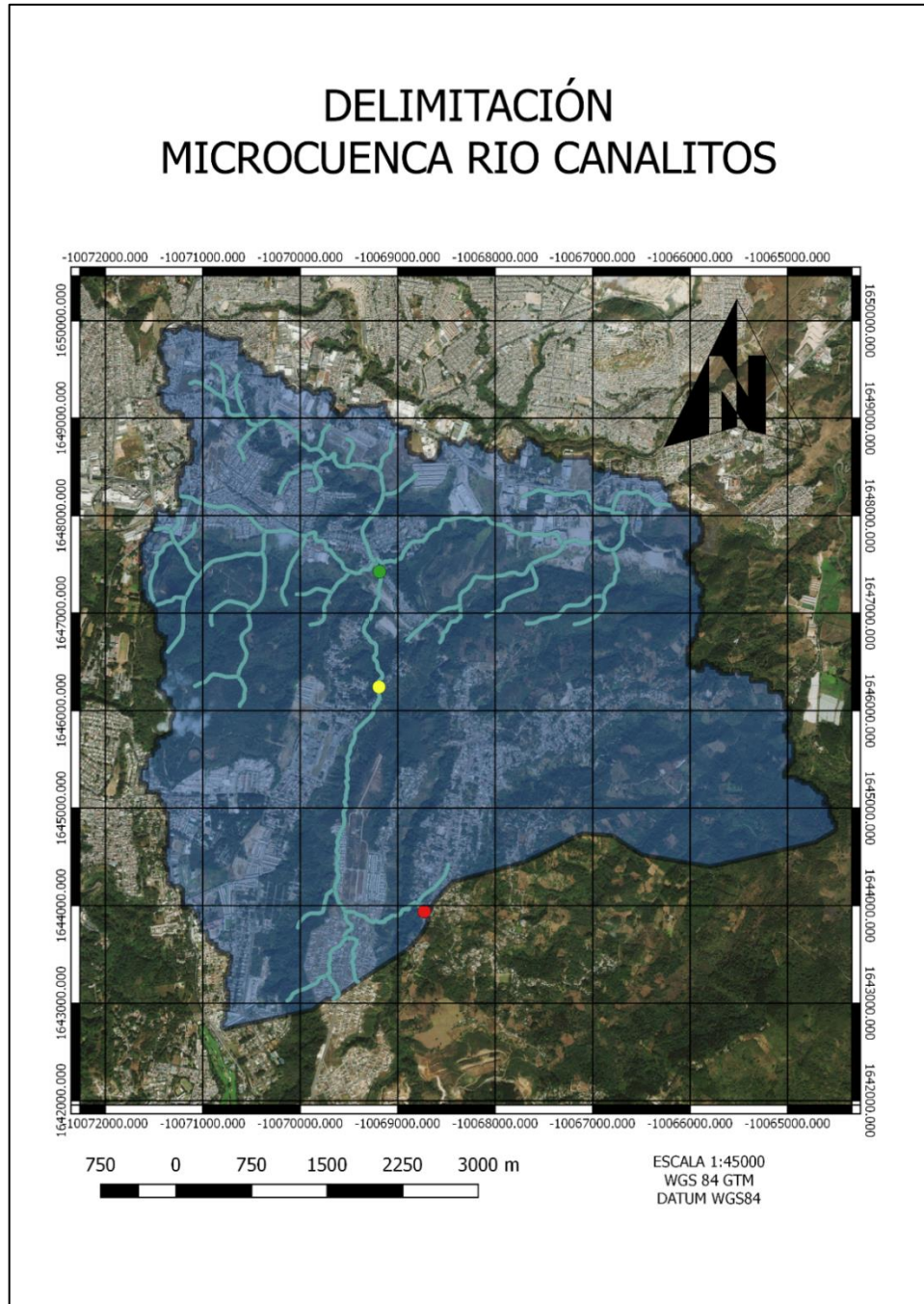
subcuenca del río Los Ocotes, el río se encuentra en las zonas 16 y 24 del municipio de Guatemala.

Se utilizarán tres puntos de muestreo, correctamente identificados y representativos de las partes alta, media y baja de la microcuenca del río:

- Parte alta: Cantón Lourdes (coordenadas geográficas 14°36'23.80"N, 90°26'51.62"O) el acceso se encuentra por un camino de terracería en la parte alta de la comunidad.
- Parte media: Canalitos, zona 24 (coordenadas geográficas 14°37'36.97"N, 90°27'11.14"O) el punto de acceso se encuentra por medio de un barranco al cual se ingresaba por medio de un terreno privado.
- Parte baja: Colonia Los Pinos-Canalitos (coordenadas geográficas 14°38'13.99"N, 90°27'10.97"O) el punto de acceso se encuentra en la carretera hacia Canalitos, bajo un puente que conecta desde la Colonia los Pinos,

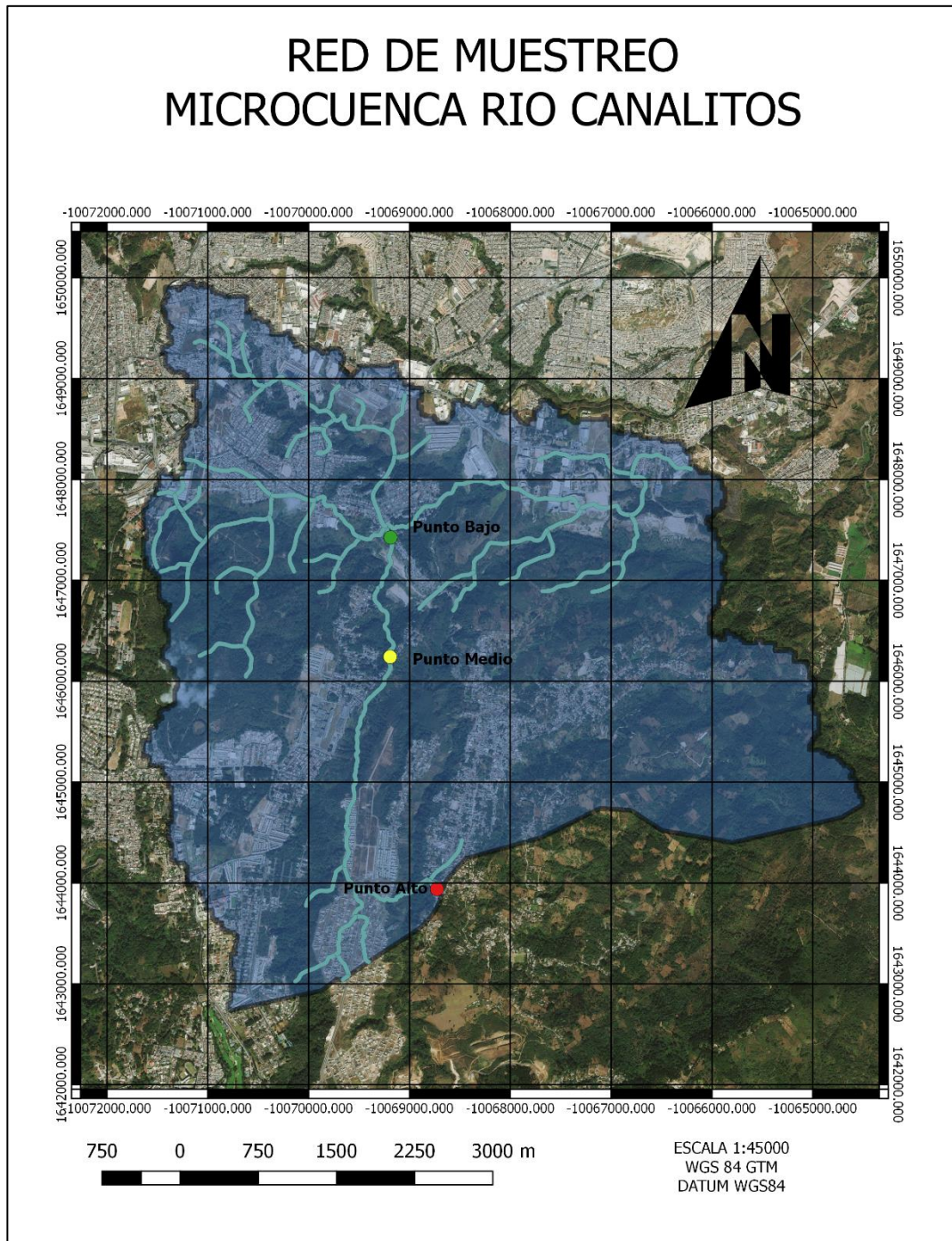
Se realizaron muestreos tanto en la época seca como en época lluviosa, para la obtención de mejores resultados y análisis de los efectos de las condiciones climáticas en los parámetros de calidad del agua.

Figura 1. Mapa de delimitación de microcuenca Río Canalitos



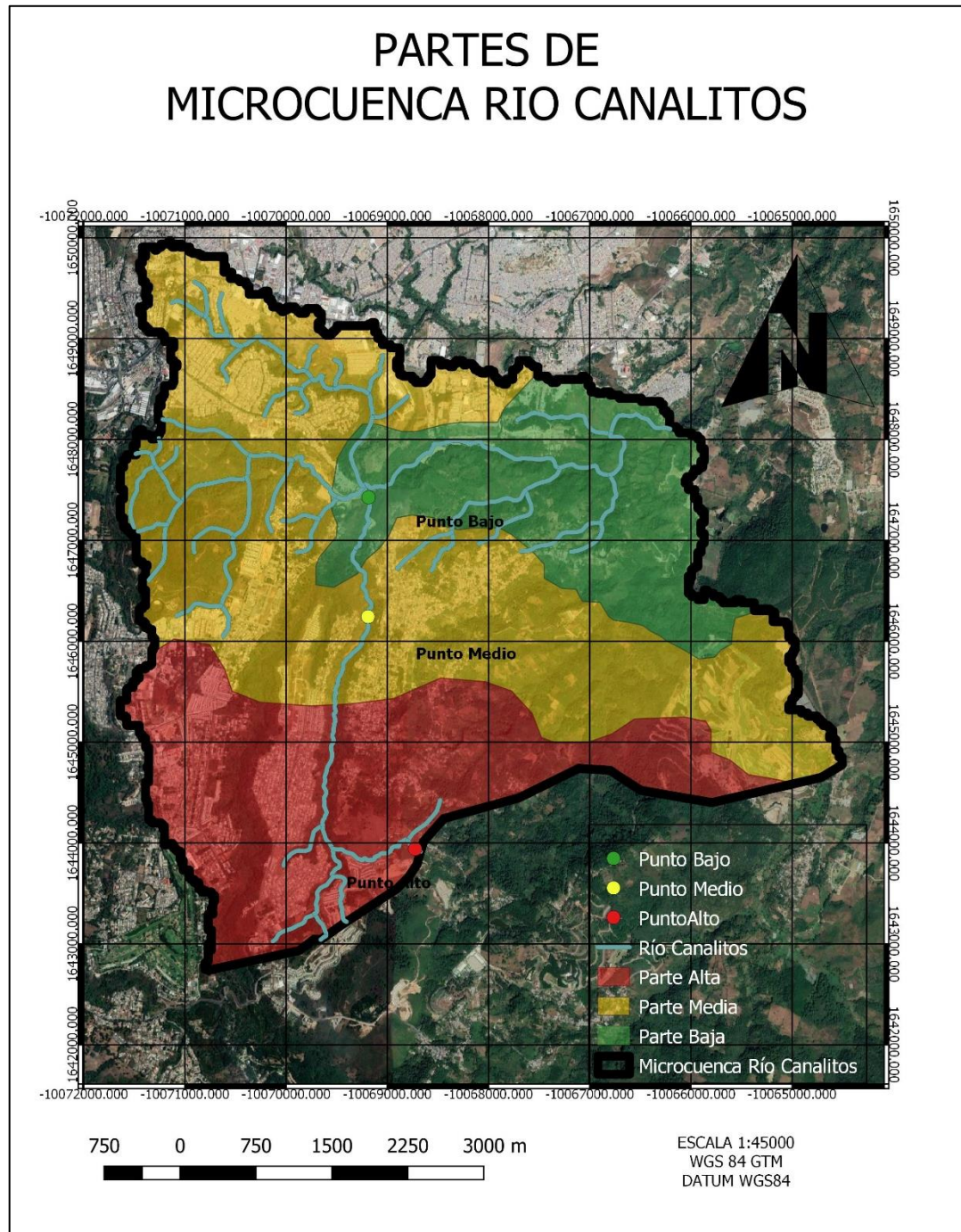
Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Figura 2. Mapa de red de muestreo



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Figura 3. Partes de la Cuenca



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

2. MARCO TEÓRICO

El agua es uno de los factores indispensables para que exista la vida sobre la Tierra, la calidad de los cuerpos acuáticos determinará la calidad de vida de todo el ecosistema que depende de este recurso. Al verse afectadas sus cualidades biológicas, físicas y químicas podrá afectar la salud de todo organismo que consuma de ella.

La calidad del agua de los ríos que fluyen dentro del casco metropolitano se ve gravemente afectada por la actividad de las comunidades humanas que descargan sus aguas residuales a estos.

2.1. Conceptos generales

A continuación, se presentan los conceptos generales del agua.

2.1.1. Recurso hídrico en el mundo

El agua es un elemento esencial para la vida, sin ella el hombre no podría existir. El componente más abundante de la tierra es el agua, cubriendo un 70 % de la superficie terrestre, mientras únicamente el 1 % es agua dulce. La mayor parte de agua dulce disponible se encuentra en los ríos. La siguiente tabla ilustra la disponibilidad del agua en el planeta:

Tabla I. **Distribución del agua en la Tierra**

Situación del agua	Volumen en km ³		Porcentaje	
	Agua dulce	Agua salada	de agua dulce	de agua total
Océanos y mares	-	1 338 000 000	-	96,5
Casquetes y glaciares polares	24 064 000	-	68,7	1,74
Agua subterránea salada	-	12 870 000	-	0,94
Agua subterránea dulce	10 530 000	-	30,1	0,76
Glaciares continentales y Permafrost	300 000	-	0,86	0,022
Lagos de agua dulce	91 000	-	0,26	0,007
Lagos de agua salada	-	85 400	-	0,006
Humedad del suelo	16 500	-	0,05	0,001
Atmósfera	12 900	-	0,04	0,001

Fuente: RAMÍREZ, Carlos. *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico*. p. 29.

Se puede ver que el agua dulce representa una pequeña cantidad del agua total disponible en la Tierra. Las aguas que utiliza el hombre para sus actividades son las que se encuentran más contaminadas debido a que reciben directamente las descargas de aguas residuales, muchas veces, sin ningún tipo de tratamiento.

2.1.2. Situación del recurso hídrico en Guatemala

La precipitación promedio anual en el territorio de Guatemala es de 2 000 mm, los cuales varían desde 700 mm en regiones de oriente, hasta 5 000 en la zona occidente y norte. En Guatemala pueden observarse dos estaciones, la estación seca y la estación lluviosa. La temporada de lluvia se encuentra de junio a septiembre. En la figura 4 se pueden observar las cuencas hidrográficas de Guatemala.

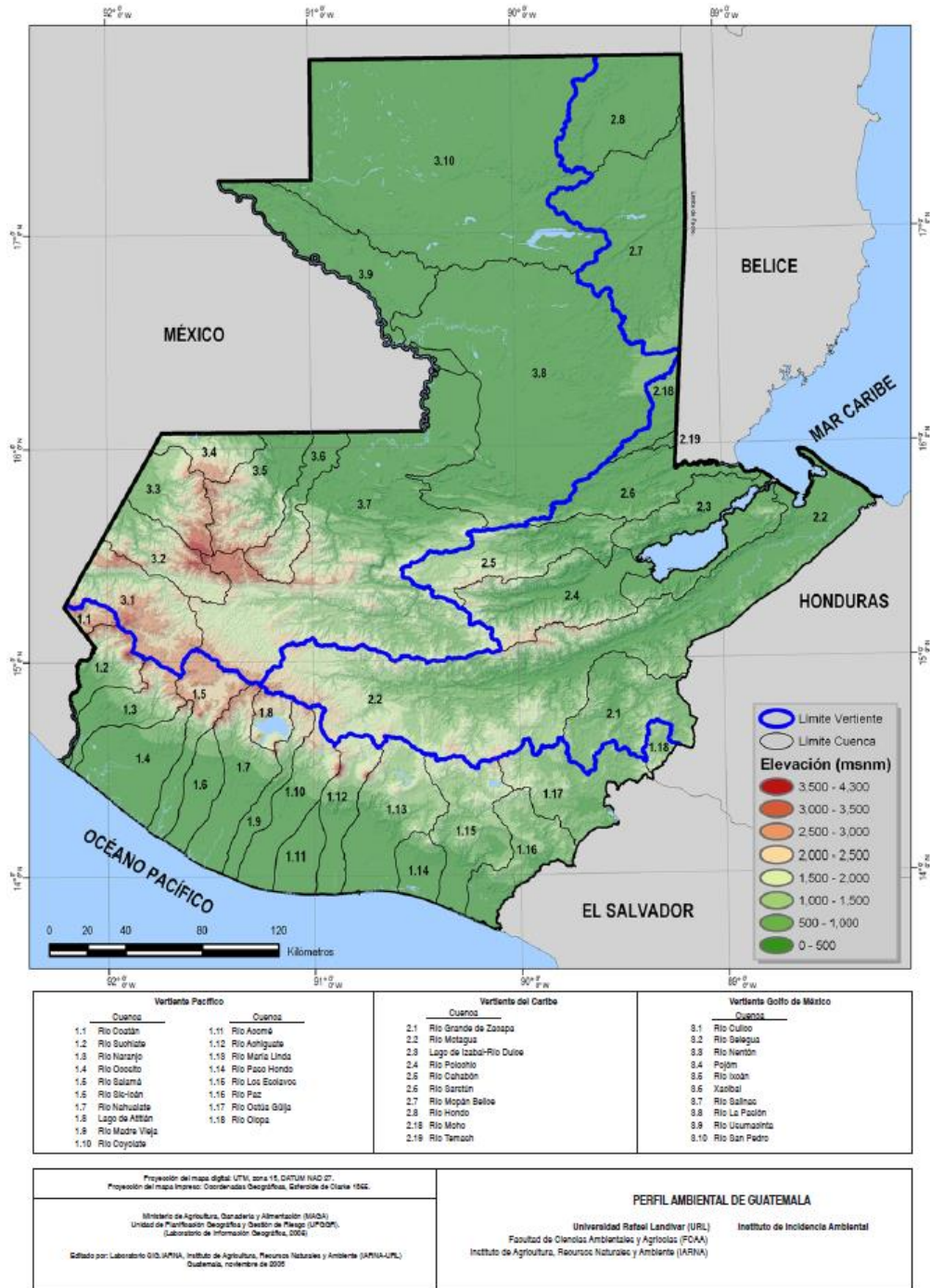
Entre los recursos hídricos del país se pueden contabilizar: 7 lagos, 19 lagunas costeras, 49 lagunas, 109 lagunetas, 7 embalses y 3 lagunas temporales.

2.1.2.1. Contaminación

El problema de contaminación es muy grave en Guatemala, aunque no exista mayor información al respecto, se sabe que la mayoría de las descargas se realizan sin ningún tipo de tratamiento previo. Las aguas residuales se pueden clasificar en aguas domésticas y aguas industriales.

Las aguas domésticas contienen principalmente contaminación por grasas, provenientes de los jabones utilizados diariamente en las viviendas y las heces fecales que se descargan. Las aguas residuales industriales traen una gran carga de contaminantes químicos variando en las industrias presentes en el sector.

Figura 4. Cuencas Hidrográficas República de Guatemala



Fuente: Universidad Rafael Landívar. *Situación del recurso hídrico en Guatemala*. p. 6.

Las descargas de aguas residuales siguen siendo un problema que no ha podido ser resuelto, y de no modificarse el reglamento de descargas no se resolverá. Aunque los Estudios de Impacto Ambiental deberían tomar en cuenta el manejo adecuado del recurso, ante la falta de información exacta del estado de los acuíferos y una legislación adecuada no puede exigirse tomar las medidas necesarias a los entes generadores.

2.1.3. Ciclo hidrológico

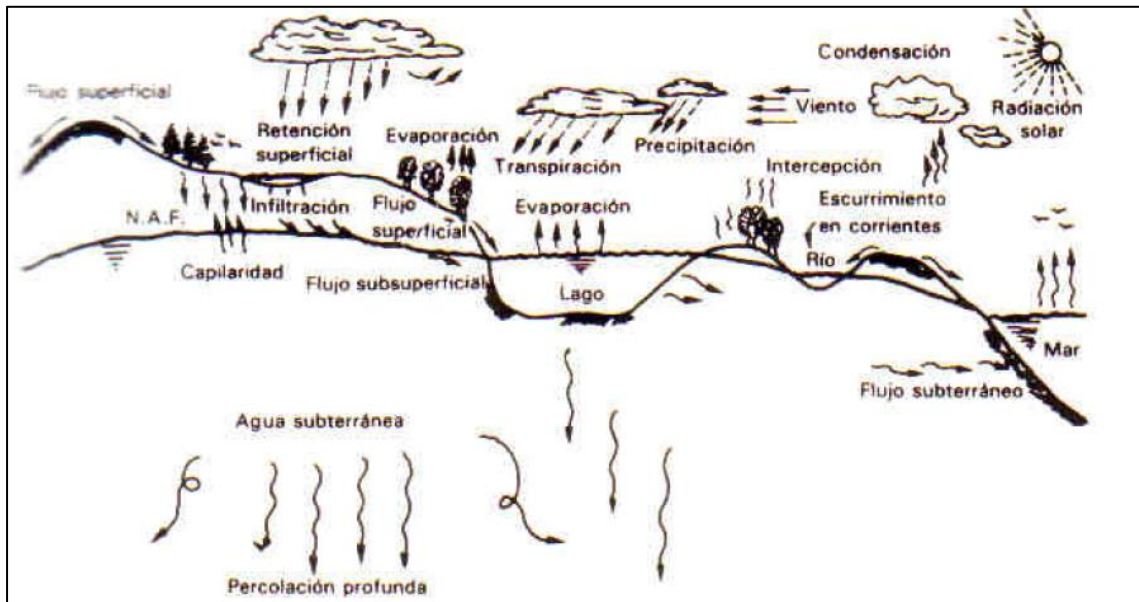
El ciclo hidrológico es indispensable para conocer los sucesos que pasan en la Tierra. Este no tiene un principio ni un final, aunque sí se sabe que está basado en los tres estados del agua: sólido, líquido y gaseoso.

El agua en forma gaseosa se encuentra en la atmósfera, como nubes, vapor de agua condensada, y la humedad presente en el ambiente. Cuando las partículas de agua llegan al peso suficiente se precipitan hacia la superficie de la Tierra en forma de lluvia, nieve o granizo.

Ya en la superficie terrestre inician los procesos de escurrimiento e infiltración. En el escurrimiento el agua se desliza por la superficie del terreno, la forma en que escurre es dependiendo de la naturaleza del terreno. El agua escurre hasta llegar a un cuerpo de agua receptor como ríos, lagos, etc. El agua que se infiltra es absorbida por el terreno y forma acuíferos subterráneos.

El agua en forma sólida puede encontrarse en forma de nieve, queda atrapada en capas hasta que el aumento de temperatura hace posible que se derrita y pase al estado líquido.

Figura 5. **Ciclo hidrológico**



Fuente: APARICIO, Francisco. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. p. 17.

2.1.3.1. **Procesos del ciclo hidrológico**

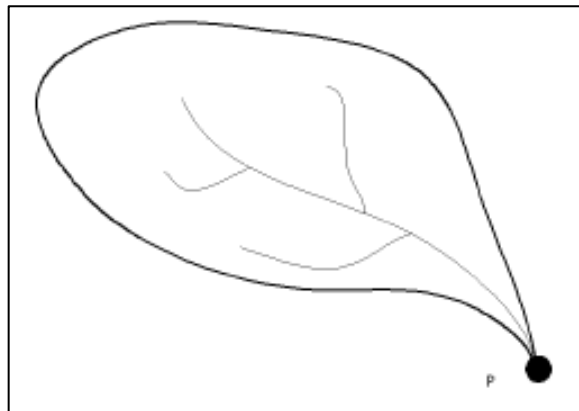
- **Infiltración:** es el proceso de transporte del agua desde la superficie hasta los cuerpos de agua subterráneos. La velocidad de este proceso depende de la morfología y composición del terreno. Al ocurrir la infiltración se da el movimiento de gran cantidad de sales bajo tierra.
- **Evaporación:** en este proceso el agua pasa de estado líquido a gaseoso, pasando a ser parte de la atmósfera.
- **Transpiración:** es el paso del agua absorbida por las plantas a la atmósfera a través de las hojas.

- Evapotranspiración: sumatoria del agua de la evaporación y la transpiración.

2.1.4. Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es un área en la cual toda la precipitación recibida es susceptible a llegar a un río o cuerpo hídrico. Las cuencas se pueden clasificar en dos tipos, endorreicas y exorreicas. Las cuencas exorreicas terminan en un lago, mientras las exorreicas drenan fuera de la cuenca. Esta clasificación permite llevar un control del agua que entra y sale a la cuenca.

Figura 6. **Representación de una cuenca hidrográfica**



Fuente: BATEMAN, Allen. *Hidrología básica y aplicada*. p. 39

2.1.4.1. Partes de la cuenca

Para facilitar el control y manejo de la cuenca es necesario dividirla en partes más pequeñas (subcuenca y microcuenca). Dentro de estas pequeñas

divisiones se realiza una división según la altura en la que se encuentren, se puede dividir en: parte alta, media y baja.

2.1.4.2. Subcuenca

Es el parte aguas de los ríos secundarios que desembocan en un río principal. Todos los afluentes tienen su propia cuenca que se denomina microcuenca.

2.1.4.3. Microcuenca

Son los ríos que desembocan en los ríos secundarios. Pueden ser quebradas y riachuelos que desembocan y alimentan los ríos secundarios.

2.1.5. Ríos

Son cuerpos de agua en movimiento, fluyen en una dirección a velocidades de 0,1 a 1 m/s. El caudal de los ríos es muy variable, depende de las condiciones meteorológicas y las características de los suelos del lugar en que se encuentra.

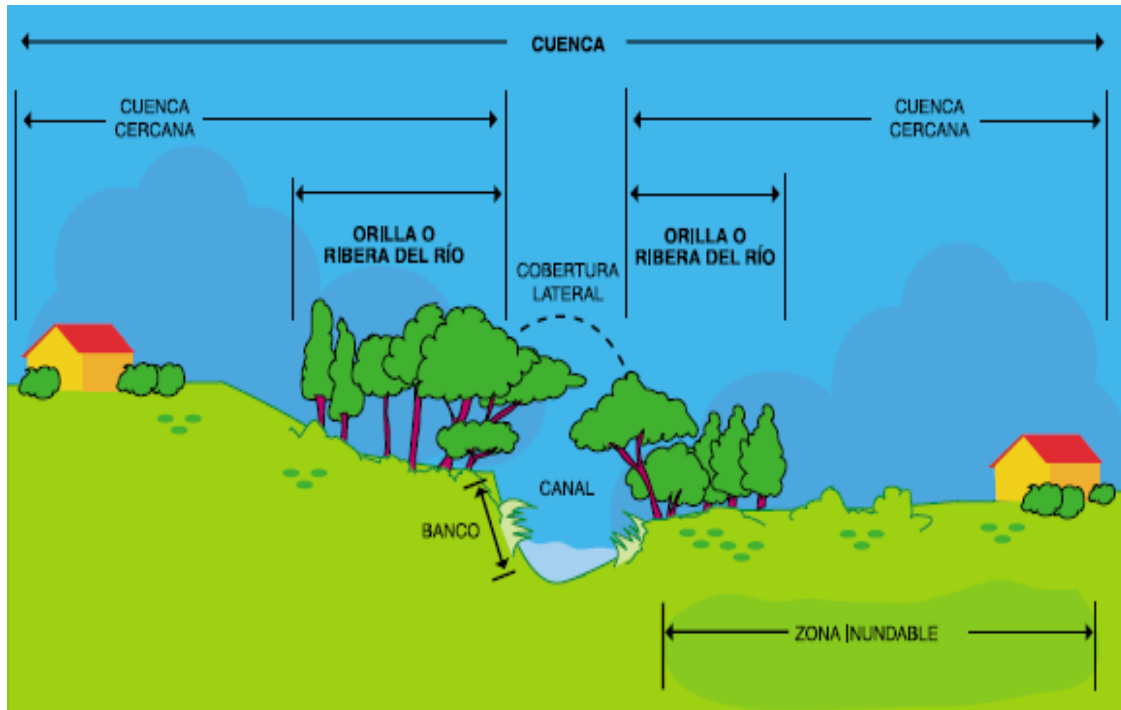
2.1.5.1. Partes que componen un río

Un río cuenta con distintas partes que tienen influencia sobre su cauce, es necesario conocerlas todas para saber la naturaleza del río. Las partes que conforman un río son las siguientes:

- Corrientes: secciones dentro del cauce del río donde fluye agua con poca o ninguna turbulencia.

- Rápidos: secciones poco profundas en el río donde fluye agua con mayor turbulencia por su impacto con las rocas.
- Pozas: secciones del río en que el agua es lenta, a veces, inclusive estática; y tienen mayor profundidad.
- Sedimentos: material que se queda depositado en el fondo del río.
- Bancos: delimitaciones que mantienen al río en su cauce.
- Ribera del río: vegetación que crece en la orilla del río. Ayuda a regular la temperatura del río y a filtrar sustancias contaminantes.
- Cuenca cercana: área que tiene la mayor influencia en la calidad del agua del río.
- Zona inundable: territorio que se cubre con agua cuando ocurren crecidas en el río.

Figura 7. Partes del río



Fuente: REYES, Carlos y FIERRO, Karol. *Manuel de monitoreo, Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua.* p. 21.

2.1.6. Contaminación del agua

Contaminación es cualquier cambio en la composición natural de alguna sustancia, en este caso el agua. La contaminación puede ser perjudicial si contiene elementos tóxicos para los organismos vivos que dependen de ella. La alteración del recurso agua puede ser por varias causas, algunas de las causas más recurrentes en Guatemala son:

- Descargas de aguas residuales: se define el agua residual como aquella que ha sido utilizada en cualquier uso benéfico. Los entes generadores

se pueden clasificar en aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. La tabla I muestra las características promedio de las aguas residuales.

Tabla II. **Características promedio de las aguas residuales**

Parámetro	Residencial	Comercial	Industrial no caracterizado
Flujo (L/hab/día)	147	1,2	1,2
DBO ₅ (g/hab/día)	40	166,7	220
SS (g/hab/día)	40	189,6	300
N (g/hab/día)	4.81	17,8	17,9
P (g/hab/día)	0.473	1,75	1,88

Fuente: RAMÍREZ, Carlos. *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico*. p. 50.

2.1.7. Macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos son animales que pueden verse a simple vista, miden entre 2 milímetros y 30 centímetros. Estos animales son los mejores indicadores sobre la calidad del agua.

Entre los macroinvertebrados se pueden incluir larvas de varios insectos como: mosquitos, libélulas o chinches. La etapa inicial de su vida inicia en el agua y luego se convierten en insectos terrestres.

Además de insectos, existen otros tipos de macroinvertebrados como: caracoles, conchas, cangrejos, camarones, planarias, lombrices de agua, ácaros de agua y sanguijuelas.

Los macroinvertebrados acuáticos pueden encontrarse en hojas flotantes, troncos caídos y en descomposición, sedimentos en el fondo del río, sobre o debajo de las piedras, donde el agua es más correntosa, lagunas, lagos, aguas estancadas, pozas y charcos.

2.2. Técnicas de monitoreo de calidad del agua

Realizar un monitoreo periódico es fundamental para conocer con seguridad la calidad de un afluente. Un monitoreo se basa en realizar una determinación de los cambios ocurridos en el agua, los animales y la tierra que rodea al cuerpo de agua, por medio de estudios.

Para que este estudio sea más acertado deben de tomarse muestras en diferentes partes del río. De esta forma, se puede comparar el cambio de calidad a lo largo del cauce.

En actividades sobre la calidad del agua es indispensable la adecuada toma de muestras para llevar al laboratorio para los análisis correspondientes. Las aguas para muestreo pueden clasificarse en:

- Aguas residuales:
 - Plantas de tratamiento de aguas residuales (industriales y/o domésticas).
 - Puntos de descarga internos o externos de industrias,
 - Redes de alcantarillado.

- Aguas naturales:
 - Marinas (playas, estuarios, bahías o mar abierto).
 - Interiores (ríos, lagunas, caños, ciénagas o pozos).

2.2.1. Definición de un plan de muestreo

Este es un aspecto primordial, se debe de realizar antes de iniciar los muestreos, pues posibilita y facilita la obtención de muestras representativas de los parámetros que se desean estudiar. Si no se han realizado muestreos previos en el lugar, se debe recopilar toda la información disponible antes de realizar el trabajo, lo cual debe de incluir una visita al lugar de interés. También debe disponerse de un croquis o mapa del sitio, si no se cuenta con esto, una vez en el sitio, debe procederse de forma operativa a fin de ejecutar el muestreo de la mejor forma.

2.2.2. Tipo y número de muestras a recolectar y parámetros a determinar

El tipo, número de muestras y los parámetros a determinar dictan los frascos, equipo de medición y muestreos necesarios. Cuando el parámetro necesite algún tipo de preservante debe añadirse previamente en los frascos. Cuando el muestreo implique la obtención de agua potable, estas deben de recolectarse y conservarse en refrigeración.

2.2.3. Tipos de muestras

Existen dos tipos de muestras que se pueden realizar, la decisión de cual hacer depende del plan de muestreo inicial. Los tipos de muestras son:

2.2.3.1. Muestras puntuales

Son tomadas en un día normal de operación durante el tiempo necesario para completar el volumen necesario para llevar a cabo los análisis.

Se recolectan directamente en los frascos asignados o con el dispositivo de muestreo adecuado, según la conveniencia. Antes de tomar la muestra, los frascos deben ser enjuagados al menos tres veces con el agua a analizar, siempre que no tengan preservativos o estén esterilizados, en este caso se omite el enjuague. Cuando deba tomarse una muestra en el frasco y resulte irrealizable, se debe obtener una alícuota del dispositivo de muestreo utilizado, previo a la medición de los parámetros *in situ* u obtención de otras alícuotas.

2.2.3.2. Muestras compuestas

Resulta de mezclar un número de muestras simples. Para conformarse el volumen de cada muestra simple deberá ser proporcional al caudal de descarga en el momento de su toma.

Se deben tomar las mismas precauciones para la toma de muestras puntuales. Las muestras compuestas se preparan mezclando varias muestras puntuales o por la recolección de una fracción continua de la descarga o cuerpo de agua a muestrear, las proporciones individuales se recogen a intervalos de tiempo previamente establecidos, de preferencia en envases de boca ancha y volumen necesario para realizar los análisis.

2.2.4. Muestreo en corrientes o descargas

Existen dos posibilidades para su recolección:

- Sin considerar el flujo: se mezclan alícuotas volúmenes, a medida que se van obteniendo o al colectarse la última muestra, hasta alcanzar el volumen final de muestra a analizar.
- En función del flujo (proporcionales al caudal): con los datos del comportamiento del caudal durante el tiempo de muestreo, se calcula la proporcionalidad entre las alícuotas y con base a ésta y el volumen de muestra compuesta necesaria, se determinan los volúmenes de cada alícuota y se procede a su mezcla.

2.3. Índices de calidad del agua

El término calidad del agua encierra por sí mismo cierto grado de confusión y, a la vez, ha sido muy criticado por algunos de los expertos en el tema. Mientras que calidad ecológica del agua, calidad fisicoquímica, calidad biológica u otros términos tienen cierta tradición, un índice de calidad del agua (IQA) se presta a muchas interpretaciones. Por ello se necesita centrar el tema y darle el marco de referencia adecuado.⁵

El término calidad del agua es relativo al uso que tiene al agua a estudiar. El índice de calidad a utilizar variará según el uso del agua. Se define como índice de calidad la expresión matemática que se calcula dependiendo de tres aspectos:

- Aspectos fisicoquímicos: los tipos de sustancias (orgánicas e inorgánicas, presentes en el agua.
- Aspectos biológicos: el estado de la biota acuática.
- Aspectos no acuáticos: aspectos temporales y espaciales que son causados por factores ajenos al sistema acuático.

⁵ SIERRA, Carlos. *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico*. p. 23.

2.3.1. Empleo de índices de calidad del agua

Al momento de utilizar un índice de calidad del agua se puede escoger entre dos opciones, utilizar un índice ya desarrollado o desarrollar un índice propio. Existen ventajas y desventajas al momento de utilizar índices ya desarrollados. Algunas ventajas son el ahorro de tiempo y esfuerzo y permite la comparación con resultados obtenidos en otras regiones. Algunas desventajas son que no siempre se pueden medir los parámetros incluidos para el índice y que pierden validez con el correr del tiempo.

2.3.2. Índices de calidad con base en las características fisicoquímicas del agua

Cuando se usa un IQA que emplee únicamente parámetros fisicoquímicos, se debe prever que tiene diferencias si no se incluyen parámetros biológicos.

Tabla III. **Diferencias entre evaluación fisicoquímica y evaluación biológica**

Evaluación fisicoquímica	Evaluación biológica
Ventajas	
Cambios temporales detallados	Integración espacial y temporal
Determinación precisa de los contaminantes	Respuesta a la contaminación crónica
Se pueden saber los flujos de los contaminantes	Respuesta a la contaminación puntual
Uso en aguas subterráneas	Posible estudiar bioacumulación
Fácil estandarización	Estudios en tiempo real (bioensayos)
	Medida de la degradación del hábitat.

Continuación de la tabla III.

Inconvenientes	
Límite de detección de microcontaminantes	Sensibilidad temporal baja
Sin posibilidad de integración temporal	Dificultades de cuantificación
Posible contaminación de las muestras	Dificultades de estandarización
Costo elevado	Sin validez para estudios de flujos
	Dificultad de utilizar en aguas subterráneas

Fuente: RAMÍREZ, Carlos. *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico*. p. 160.

Las ventajas en el uso de índices biológicos recaen en que se pueden integrar los resultados, si se utilizan adecuadamente, y su bajo costo. Los problemas que presenta en la estandarización y un alto esfuerzo.

2.3.3. Índices biológicos de calidad del agua

Las características de la biota que habita en un cuerpo de agua son consideradas como buenos indicadores de la calidad del agua.

- Selección del indicador

Es el primer paso que se debe realizar cuando se utiliza un índice biológico, ya que deben considerarse muchos aspectos. Las características del grupo indicador ideal deben incluir:

- Facilidad de identificación taxonómica
- facilidad de muestreo
- amplia distribución

- que exista una buena información acerca del grupo
- que sea sedentario
- abundante
- de larga vida
- de tamaño grande
- que se pueda cultivar en el laboratorio
- que sea poco variable genéticamente
- que ocupe siempre el mismo nivel trófico

No existe ningún indicador que reúna todas las condiciones por lo que se debe buscar entre los grupos aquel que reúna la mayor cantidad de características enumeradas.

Tabla IV. **Características que debe reunir un grupo biológico para ser utilizado como bioindicador**

Características	Bacterias	Protozoos	Algas	Macroinvertebrados	Micrófitos	Peces
Taxonomía	2	1	1	3	3	3
Muestreo	2	2	2	2	3	1
Distribución	3	3	3	2	2	1
Información	1	1	2	2	2	2
Interés Económico	2	1	1	1	2	2
Bioacumulación	1	1	1	2	2	3
Laboratorio	2	1	2	2	2	1
Genética	1	1	2	2	2	1
Nivel trófico	1	1	1	3	1	2
Sedentariedad	1	1	2	2	3	1
Abundancia	2	2	3	3	1	1
Ciclo de vida	1	1	1	2	2	2
Tamaño	1	1	1	3	3	3
Variabilidad	1	1	2	2	3	1
Uso (%)	15	17	25	26	5	6

Fuente: BEHAR, Roberto; ZÚÑIGA, María del Carmen y ROJAS, Olga. *Análisis y valoración del índice de calidad del agua (IQA) de la NSF: El caso de los ríos Cali y Meléndez*. p. 3.

Según la tabla IV, los macroinvertebrados son los indicadores más adecuados. Se pueden utilizar distintos grupos según las preferencias del investigador. Actualmente los más utilizados son los macroinvertebrados.

2.4. Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA)

Es un índice fisicoquímico que se calcula con base en 5 parámetros, temperatura, conductividad, sólidos en suspensión, DQO y oxígeno disuelto; de esta forma se puede obtener el grado de calidad del agua en un cuerpo hídrico.

Es un índice sencillo de utilizar que proporciona una rápida idea de la calidad, pero necesita ser complementado con otros índices para obtener resultados más acertados.

2.4.1. Parámetros utilizados para el cálculo del ISQA

- Temperatura: a mayores temperaturas existe una menor concentración en el oxígeno disuelto. Un gran incremento en la temperatura supone un riesgo para la vida acuática.
- Conductividad eléctrica: es una forma indirecta de medir los iones en solución. La conductividad en los cuerpos de agua es determinada por la geología de la cuenca del cuerpo.
- Demanda química de oxígeno (DQO): determina la cantidad de oxígeno que se requiere para que la materia orgánica en el agua sea oxidada.
- Sólidos en suspensión (SST): es la porción de sólidos presentes en suspensión que se pueden separar por medios mecánicos.

- Oxígeno disuelto: es la cantidad de oxígeno que está mezclada con el agua.

2.4.2. Cálculo del ISQA

Para el cálculo del valor del ISQA se debe utilizar la siguiente ecuación:

Ecuación 1: Valor ISQA

$$ISQA = E (A + B + C + D)$$

Donde:

- E = temperatura del agua (°C). Puede estar entre 0,8 y 1, se calcula utilizando las siguientes ecuaciones:

Ecuación 2: valores de E

$$E = 1, \quad \text{si } T \leq 20^{\circ}\text{C}$$

$$E = 1 - (T - 20) * 0,0125, \quad \text{si } T > 20^{\circ}\text{C}$$

- A = demanda química de oxígeno (mg/L). Toma valores de 0 a 30, se calcula con las siguientes ecuaciones:

Ecuación 3: valores de A

$$A = 30 - DQO, \quad \text{si } DQO \leq 10 \frac{mg}{L}$$

$$A = 21 - (0,35 * DQO), \quad \text{si } 60 \frac{mg}{L} \geq DQO > 10 \frac{mg}{L}$$

$$A = 0, \quad \text{si } DQO > 60 \frac{mg}{L}$$

- B = sólidos suspendidos totales. Tiene valores entre 0 y 25, según las ecuaciones:

Ecuación 4: valores de B

$$B = 25 - (0,15 * SST), \quad \text{si } SST \leq 100 \frac{mg}{L}$$

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

$$B = 0, \quad \text{si } SST > 250 \frac{mg}{L}$$

- C = oxígeno disuelto. Toma valores de 0 a 25, se calcula con las siguientes ecuaciones.

Ecuación 5: valores de C

$$C = 2,5 * OD, \quad \text{si } OD < 10 \frac{mg}{L}$$

$$C = 25 \text{ si } OD \geq 10 \frac{mg}{L}$$

- D = conductividad eléctrica, si la conductividad es medida a 25°C, se debe obtener una conversión a 18 °C, se multiplica por un factor 0,86. Toma valores entre 0 y 20, según las siguientes ecuaciones:

Ecuación 6: valores de D

$$D = (3,6 - \log CE) * 15,4, \quad \text{si } CE \leq 4000 \frac{\mu S}{cm}$$

$$D = 0, \quad \text{si } CE > 4000 \frac{\mu S}{cm}$$

El ISQA toma valores entre 0 y 100, siendo 0 la peor calidad y 100 la mayor calidad.

Tabla V. **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 olor fuerte.	Amarillo
Muy mala	0-25	Aguas negras, con procesos de fermentación y olor.	Rojo

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

2.5. Índice biótico BMWP-CR

Es un índice modificado para la región de Costa Rica, se calcula sumando las puntuaciones asignadas a las familias de macroinvertebrados según su sensibilidad a la contaminación. Según su sensibilidad, se realiza una división de macroinvertebrados en cinco grupos.

Tabla VI. **Calificación de los macroinvertebrados según su sensibilidad**

Sensibilidad	Calidad del agua	Calificación
No aceptan contaminantes	Muy buena	9-10
Aceptan muy pocos contaminantes	Buena	7-8
Aceptan pocos contaminantes	Regular	5-6
Aceptan mayor cantidad de contaminantes	Mala	3-4
Aceptan muchos contaminantes	Muy Mala	1-2

Fuente: CARRERA, Carlos y FIERRO, Karol. *Manual de monitoreo. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua.* p 30.

El puntaje se asigna una sola vez por familia, sin importar cuantos especímenes se encuentren. La suma de los puntajes de las familias brinda el valor final del índice. El valor calculado permite determinar la calidad del agua según la siguiente tabla.

Tabla VII. **Niveles de calidad de agua según índice BMWP-CR**

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

Fuente: Ministerio de Ambiente y Energía. *Reglamento No. 33903 MINAE-S, Diario Oficial La Gaceta No. 178.* <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Reglamento%20evaluaci%C3%B3n%20y%20clasificaci%C3%B3n%20de%20calidad%20de%20cuerpos%20de%20agua%20superficiales.pdf>. Consulta: 2 de junio de 2020.

2.5.1. **Clasificación de macroinvertebrados para el uso en el índice BMWP-CR**

En la tabla siguiente se puede observar la clasificación de macroinvertebrados acuáticos por familias y su puntuación para la determinación del índice biótico BMWP-CR.

Tabla VIII. **Calificación BMWP-CR según familias de macroinvertebrados**

Familias	Puntajes
<i>Anomalopsychidae, Antriptectididae, Blephariceridae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gripopterygidae, Lampyridae, Odontoceridae, Perlidae, Polymitarcyidae, Polythoridae, Psephenidae.</i>	10
<i>Coryphoridae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gomphidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Limnephilidae, Oligoneuriidae, Philopotamidae, Plastystictidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.</i>	9
<i>Atyidae, Calamoceratidae, Hebridae, Helicosychidae, Hydraenidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Naucoridae, Palaemonidae, Psudothelpusidae, Trichodactylidae, Saldidae, Dialidae, Sphaeriidae.</i>	8
<i>Ancylidae, Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Crambidae, Dicteriadidae, Dixidae, Elmidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydrobiidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Lestidae, Ochteridae, Pyralidae.</i>	7
<i>Aeshnidae, Ampullariidae, Caenidae, Corydalidae, Dryopidae, Dugesiidae, Hyriidae, Hydrochidae, Limnichidae, Lutrochidae, Lymnaeidae, Megapodagrionidae, Mycetopodidae, Pleidae, Staphylinidae.</i>	6
<i>Ceratopogonidae, Corixidae, Gelastocoridae, Gyrinidae, Libellulidae, Mesoveliidae, Nepidae, Notonectidae, Planorbidae, Simuliidae, Tabanidae, Thiaridae.</i>	5
<i>Belostomatidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Ephydriidae, Glossiphoniidae, Haliplidae, Hydridae, Muscidae, Scirtidae, Empididae, Dolichopodidae, Hydrometridae, Noteridae, Sciomyzidae.</i>	4
<i>Chaoboridae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Stratiomyidae, Tipulidae.</i>	3
<i>Chironomidae (cuando no es la familia dominante), Isotomidae, Culicidae, Psychodidae, Syrphidae.</i>	2
<i>Haplotaenidae, Tubificidae.</i>	1

Fuente: ÁLVAREZ ARANGO, L. F. *Calificación BMWP según familias de macroinvertebrados.*

p. 8.

2.6. Caracterización de microcuenca Río Canalitos

La caracterización de una cuenca se encuentra dirigida a definir y desarrollar los parámetros que describen su estructura física y territorial, con el fin de establecer las posibilidades y limitaciones de sus recursos naturales, pero también, para identificar la problemática presente y potencial.

Para la realización del presente proyecto de investigación fue necesario conocer las condiciones actuales de la microcuenca Río Canalitos. Los dos

aspectos principales que tomar en cuenta son los aspectos socioeconómicos y los aspectos biofísicos.

2.6.1. Aspectos socioeconómicos

Los aspectos socioeconómicos son las características sociales, económicas y las realidades que caracterizan a un individuo o un grupo dentro de una estructura social.

2.6.1.1. Demografía

La microcuenca del río Canalitos se encuentra ubicada entre las zonas 16 y 24 del municipio de Guatemala, la mayor parte de la cuenca se encuentra ubicada en la zona 24.

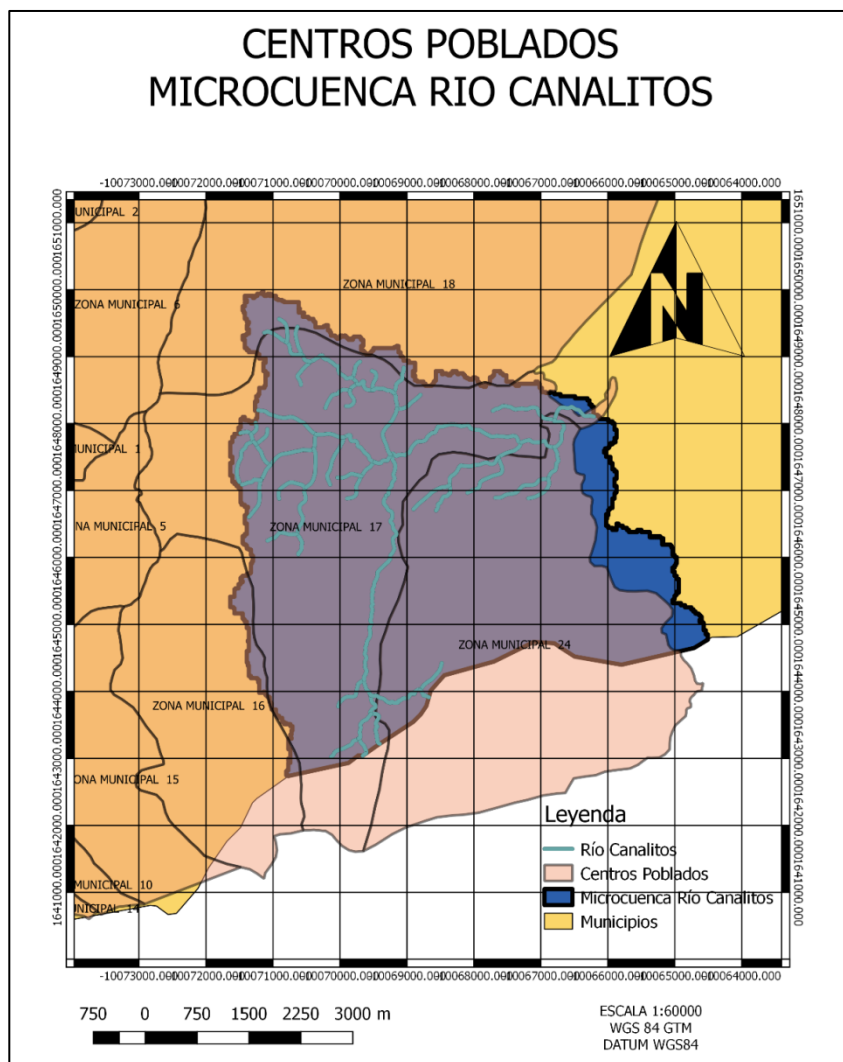
Las zonas 24 son dos de las 25 zonas que componen la ciudad de Guatemala, de acuerdo con el establecimiento de estas durante el gobierno de Jacobo Árbenz en 1953. La zona 24 abarca los ocho cantones de la aldea Canalitos. La zona 16 abarca desde Vista Hermosa III a San Isidro. Entre ambas zonas se tiene una gran diferencia de niveles económicos, lo que se puede observar en la infraestructura de estas. Siendo la zona 16 de un estrato económico más alto que el de la zona 24.

Según el censo poblacional del año 2002, la zona 24 cuenta con una población de 14 810 habitantes, divididos entre 7 267 de sexo masculino y 7 543 de sexo femenino. Mientras que la zona 16 contaba con 19 499 habitantes, siendo 9 389 de sexo masculino y 10 110 de sexo femenino. Estas cifras han aumentado considerablemente debido a la construcción de nuevas

colonias residenciales en la Finca El Pulté, zona 16, y mayor presencia de asentamientos en la zona 24.

En la siguiente figura se pueden observar los centros poblados, según la clasificación de la Municipalidad de Guatemala.

Figura 8. Mapa de centros poblados



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

2.6.1.2. Servicios básicos

A continuación, se describen los servicios básicos que se brindan.

2.6.1.2.1. Drenajes de aguas servidas

En zona 16, se cuenta con redes de drenajes en funcionamiento, aunque en muy pocas colonias se cuenta con sistemas de tratamiento previo a la disposición final de las aguas a un cuerpo de agua.

En zona 24, se cuenta con drenajes solamente en los centros más poblados y se encuentra en condiciones deficientes. No se cuenta con ningún tipo de tratamiento previo a la descarga de aguas negras, las cuales son principalmente al río Canalitos. En los sectores que no se cuenta con drenajes la disposición de aguas residuales es por medio de pozos de absorción.

2.6.1.2.2. Energía eléctrica

El servicio de energía eléctrica es proveído por la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA), para ambas zonas. Se cuenta con alumbrado público en toda la extensión de ambas zonas.

2.6.1.2.3. Agua potable

En ambas zonas se cuenta con servicio de agua potable por parte de la Empresa Municipal de Guatemala –EMPAGUA-, esta presta servicio de agua potable para la población. Algunas áreas de zona 24 no cuentan con servicio de agua potable, por lo que acarrear agua desde el río Canalitos.

2.6.2. Aspectos biofísicos

El aspecto biofísico observa las características biológicas, geológicas y físicas, para un mejor manejo y aprovechamiento de los recursos. De esta forma también se pueden estudiar y anticipar posibles riesgos que puedan presentarse y ayudan a la mejor planificación territorial.

2.6.2.1. Altitud y topografía

La cuenca tiene un área de 2 768.12 ha, con una altitud de entre los 1 300 y 1 600 msnm aproximadamente.

La zona 24 presenta un terreno muy accidentado, presenta pendientes de entre el 10 % y el 75 %.

En la figura 8 se observa la topografía de la microcuenca río Canalitos.

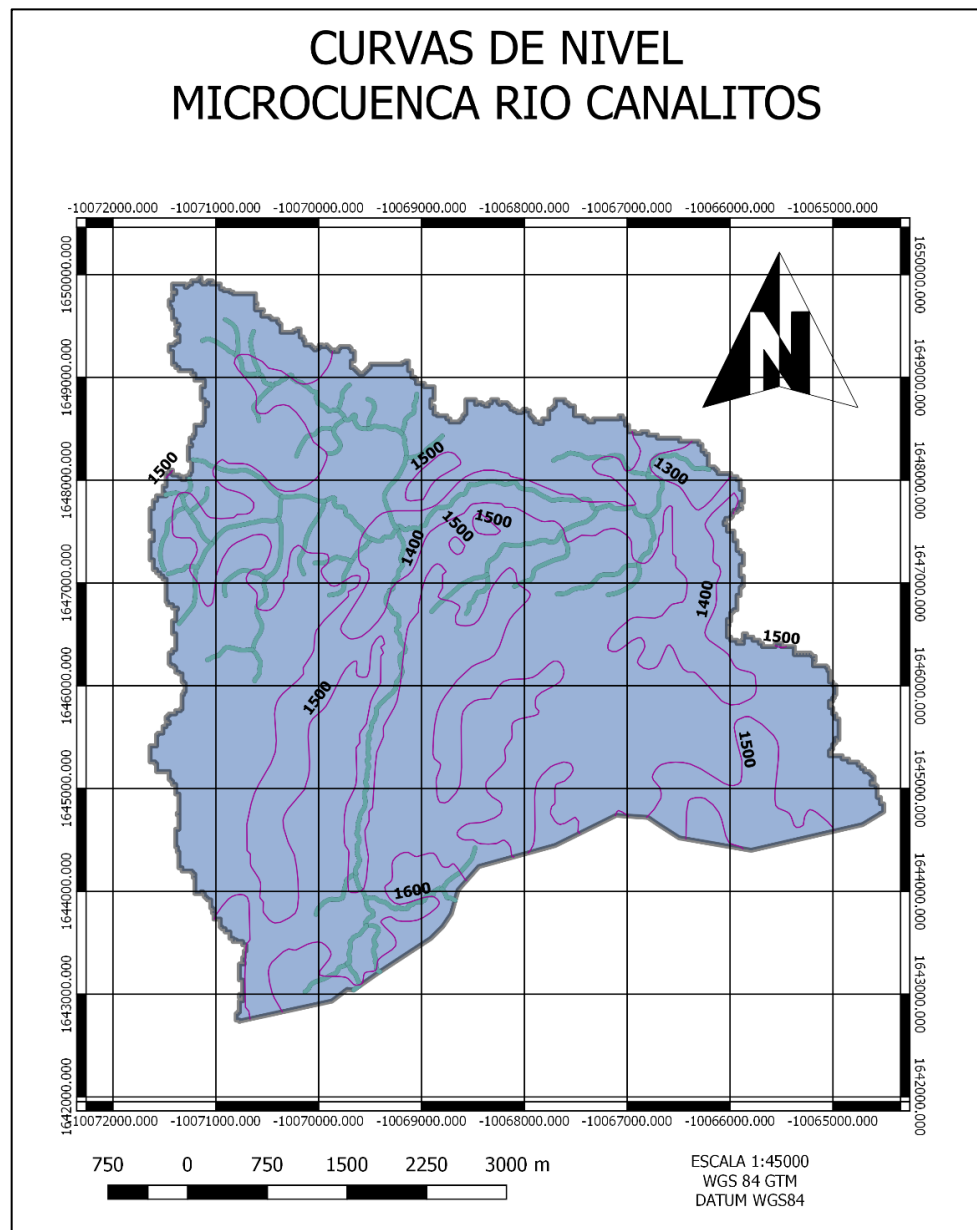
2.6.2.2. Geología y fisiografía

En la microcuenca predominan los suelos de rocas ígneas y metamórficas, se pueden encontrar del período cuaternario y terciario, aunque predominan las rocas del período terciario.

Las rocas del período cuaternario presentan rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de origen diverso. Mientras que, las rocas del período terciario presentan rocas sin dividir. Predominantemente Mio-Policeno. Incluyendo tobas, coladas de lava, material lahárico y sedimentos volcánicos.

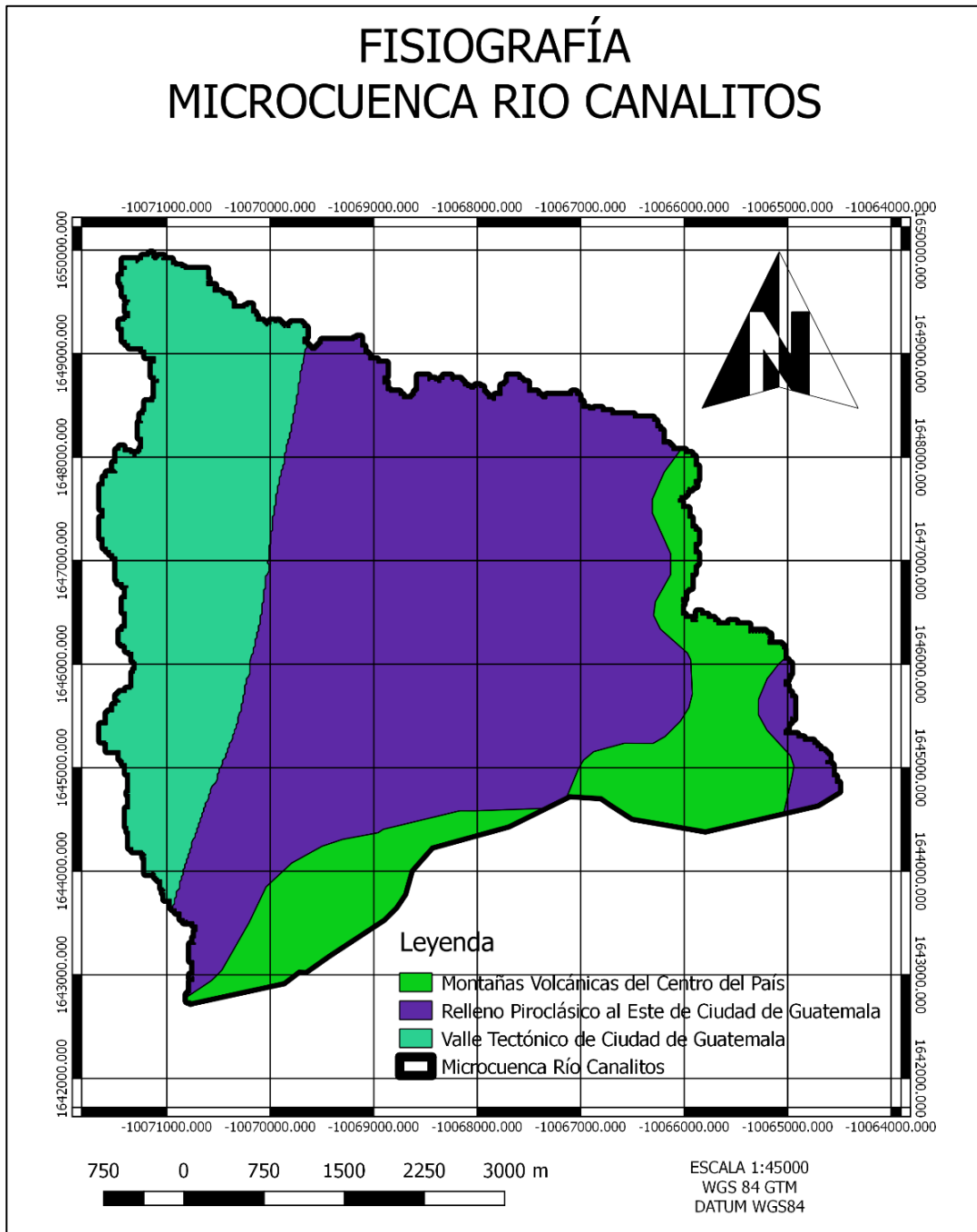
Dentro de la microcuenca se tienen tres paisajes predominantes según las características fisiográficas, estas se pueden observar en la figura 9.

Figura 9. **Curvas de nivel**



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Figura 10. Fisiografía



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

2.6.2.3. Zonas de vida

Toda la cuenca se encuentra en la zona de vida denominada Bosque húmedo subtropical templado (bh-S(t)), según el sistema de clasificación de zonas de vida Holdridge.

Esta zona de vida se caracteriza por una precipitación más frecuente entre los meses de mayo y noviembre, variando según la situación orográfica. La biotemperatura oscila entre los 20 y 26 °C.

Entre las especies de flora que pueden encontrarse en esta zona de vida están: pino colorado (*Pinus oocarpa*), lengua de vaca (*Curatella americana*) y Roble (*Quercus sp*).

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables

A continuación, se describen las variables independientes y las dependientes.

3.1.1. Variables independientes

- ISQA
 - Temperatura,
 - Conductividad eléctrica,
 - Oxígeno disuelto,
 - Sólidos suspendidos,
 - Demanda química de oxígeno (DQO).
- BMWP-CR
 - Puntuación de macroinvertebrado recolectado.

3.1.2. Variables dependientes

- Valor de índice ISQA
- Valor de índice BMWP-CR

Las variables para tomar en cuenta corresponden a lo siguiente:

- DOQ: mide la cantidad de oxígeno que es necesaria para oxidar la materia orgánica en inorgánica en una muestra de agua. La cantidad de

materia oxidante consumida se expresa en su equivalente de oxígeno. Es expresada en miligramos por litros (mg/L).

- Temperatura: es la medida de calor de las partículas en una sustancia, el cuerpo de agua, en este caso. Se utiliza un equipo multiparamétrico para obtener el valor de la temperatura.
- Oxígeno disuelto: la cantidad de oxígeno presente disuelto en el agua. Es un indicador de calidad ya que la presencia de oxígeno permite que se desarrolle vida en el agua. Un alto nivel de oxígeno es un indicador de buena calidad. Esta variable debe ser medida *in situ*, y se expresa en miligramos por litro (mg/L).
- Sólidos en suspensión: son partículas cuyo tamaño y peso les permite quedar en suspensión en el agua. Se pueden eliminar fácilmente con procesos de filtración y sedimentación.
- Conductividad eléctrica: es la propiedad de conducir electricidad a través del cuerpo de agua. Es medida en microsiemens por centímetro ($\mu\text{s/cm}$).
- Puntuación de macroinvertebrado recolectado: clasificación de las familias encontradas y categorizadas según el criterio de sensibilidad o tolerancia a situaciones adversas para el desarrollo de vida. El puntaje más bajo indica menor sensibilidad y el de mayor puntaje señala a las familias más sensibles.
- Índice simplificado de calidad del agua (ISQA): permite conocer de manera sencilla la calidad del agua por medio de variables fisicoquímicas.

- Valor de índice BMWP-CR: es la suma de los puntajes de las familias encontradas y categorizadas según el criterio de sensibilidad o tolerancia a situaciones adversas para el desarrollo de vida. El puntaje más bajo indica menor sensibilidad y el de mayor puntaje señala a las familias más sensibles.

3.2. Recursos materiales disponibles

- Herramientas e información del sistema de información geográfico (SIG):
 - *Shapes* Ciudad de Guatemala – Municipalidad de Guatemala.
 - *Software ArcGis* para la realización de mapas y análisis de los datos.
- Equipo y herramientas por utilizar
 - Vehículo
 - GPS
 - Cámara fotográfica
 - Botas de hule
 - Guantes de látex
 - Red de muestreo tipo D (cedazo de 1 mm)
 - Pinzas
 - Botes plásticos de boca ancha
 - Alcohol etílico al 70 %
 - Glicerina
 - Bolsas ziploc
 - Multiparamétrico
 - Laboratorio Dra. Alba Tabarini de la Facultad de Ingeniería, USAC

- Equipo para medición de DQO
- Equipo para medición de sólidos disueltos
- Laboratorio de Micología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.
 - Estereoscopio.

3.3. Metodología por utilizar para el muestreo de macroinvertebrados

A continuación, se describe la metodología a utilizar para el muestreo.

3.3.1. Planificación

Se realizó una visita de reconocimiento para determinar la ruta óptima y mejores puntos de acceso al río, con el fin de optimizar recursos financieros, logísticos y facilitar el trabajo.

Se calendarizaron los muestreos para tener una mejor organización en el uso del equipo de muestreo y evitar problemas con la disponibilidad de este.

3.3.2. Preparación del equipo para muestreo

Previo a ingresar a los puntos de muestreo se debió preparar todo el equipo que se iba a utilizar para evitar complicaciones al momento de tomar las muestras. El equipo necesario para los muestreos era: botas de hule, red de muestreo tipo D, bolsas plásticas sellables, guantes de látex, solución para conservación de la muestra (alcohol al 70 % y glicerina).

3.4. Procedimiento de muestreo

- Seleccionar un tramo del río no superior a 50 m de largo. Este tramo debe de contener la mayor cantidad de hábitat posible y ser representativo a la situación del río.
- Colocar el equipo de protección personal antes de usar el muestreo. Este equipo consta de guantes y botas.
- Tomar la red por la parte más alta del mango y colocarla en posición vertical introduciendo el otro extremo al agua. Avanzar con la red a contracorriente por lo menos 5 m agitando el sedimento en el fondo del río para recolectar la mayor cantidad de muestras posibles. Repetir este paso en ambos extremos del río y en el centro.
- Después de recolectar la muestra introducir los especímenes encontrados en la solución para que se conserven.

3.5. Análisis de muestras de macroinvertebrados

- Colocar las muestras en un lugar seguro para evitar ser derramadas.
- Examinar las muestras, a simple vista, para facilitar su reconocimiento.
- Tomar las muestras y colocarlas en una caja Petri. Colocarla bajo el estereoscopio.
- Examinar las muestras tomadas y clasificarlas con la ayuda de las guías taxonómicas.

- Asignar el punteo BMWP a cada familia.
- Realizar la sumatoria de todas las familias encontradas.

3.6. Delimitación del campo de estudio

El campo de estudio es la caracterización de la calidad del agua por medio de los índices ISQA y BMWP-CR. Se realizará a lo largo del cauce del río Canalitos, subcuenca río Los Ocotes; ubicado entre las zonas 16 y 24 capitalinas.

4. RESULTADOS

4.1. Muestra de cálculo para la determinación del índice fisicoquímico ISQA

A continuación, se describen las muestras de cálculo.

4.1.1. Cálculo del valor del parámetro E de temperatura

El cálculo del valor del parámetro se describe en la tabla IX.

Tabla IX. Parámetro E de temperatura del río Canalitos, época seca

Parte del río	Temperatura (°C)	E
Muestreo 1		
Alta	21,37	0,98
Media	20,22	0,99
Baja	18,48	1,00
Muestreo 2		
Alta	20,28	0,99
Media	24,50	0,94
Baja	17,27	1,00
Muestreo 3		
Alta	21,4	0,98
Media	21,87	0,94
Baja	20,43	1,00
Muestreo 4		
Alta	17,07	1,00
Media	18,81	1,00
Baja	14,97	1,00
Muestreo 5		
Alta	20,16	0,99
Media	21,35	0,98
Baja	17,79	1,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla X. **Parámetro E de temperatura río Canalitos, época lluviosa**

Parte del río	Temperatura (°C)	E
Muestreo 1		
Alta	17,00	1,00
Media	18,32	1,00
Baja	19,02	1,00
Muestreo 2		
Alta	21,11	0,98
Media	24,83	0,93
Baja	20,11	0,98
Muestreo 3		
Alta	22,50	0,97
Media	24,25	0,95
Baja	20,30	0,97
Muestreo 4		
Alta	21,15	0,98
Media	23,18	0,96
Baja	19,99	1,00
Muestreo 5		
Alta	23,06	0,96
Media	24,34	0,94
Baja	21,24	0,98

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Se utilizó la ecuación 2 para obtener el valor del parámetro E por medio de los datos obtenidos de temperatura. Según las condiciones de dicha ecuación, el parámetro E se calculó de la siguiente forma:

$$E = 1 - (T - 20) * 0,0125 \text{ si } T > 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$E = 1 - (21,37 - 20) * 0,0125 \text{ ya que } 21,37 > 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$E = 0,98$$

Se utilizó la ecuación 2 para todos los muestreos, tomando en cuenta las condiciones de la ecuación.

4.1.2. Cálculo del valor del parámetro A de DQO

Se describe en las siguientes tablas.

Tabla XI. **Parámetro A de DQO del río Canalitos, época seca**

Parte del río	DQO (mg/L)	A
Muestreo 1		
Alta	24,00	12,60
Media	108,00	0,00
Baja	48,00	4,20
Muestreo 2		
Alta	13,00	16,45
Media	69,00	0,00
Baja	83,00	0,00
Muestreo 3		
Alta	22,00	13,30
Media	27,00	11,55
Baja	8,00	22,00
Muestreo 4		
Alta	>5,00	25,01
Media	31,00	10,15
Baja	>5,00	25,01
Muestreo 5		
Alta	16,00	15,40
Media	58,75	0,44
Baja	36,00	8,40

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XII. **Parámetro A de DQO del río Canalitos, época lluviosa**

Parte del río	DQO (mg/L)	A
Muestreo 1		
Alta	42,00	6,30
Media	70,00	0,00
Baja	34,00	9,10
Muestreo 2		
Alta	15,00	15,75
Media	28,00	11,20
Baja	112,00	9,16
Muestreo 3		
Alta	55,00	1,75
Media	31,00	10,15
Baja	44,00	5,60
Muestreo 4		
Alta	5,00	25,00
Media	34,00	9,10
Baja	20,00	14,00
Muestreo 5		
Alta	10,00	20,00
Media	79,00	0,00
Baja	79,00	79,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Se utilizó la ecuación 3 para obtener el valor del parámetro A por medio de los datos obtenidos de DQO. Según las condiciones de dicha ecuación, el parámetro A se calculó de la siguiente forma:

$$A = 21 - (0,35 * DQO) \quad \text{si } \frac{60mg}{l} \geq DQO > \frac{10mg}{l}$$

$$A = 21 - (0,35 * 24,00) \quad \text{ya que } \frac{60mg}{l} \geq 24,00mg/l > \frac{10mg}{l}$$

$$A = 12,60$$

Se utilizó la ecuación 3 para todos los muestreos, tomando en cuenta las condiciones de la ecuación.

4.1.3. Cálculo del valor de parámetro B de sólidos suspendidos totales (SST)

A continuación, se muestran los cálculos del valor de parámetro B de SST.

Tabla XIII. **Parámetro B de SST del río Canalitos, época seca**

Parte del río	SST (mg/l)	B
Muestreo 1		
Alta	2,00	24,70
Media	4,00	24,40
Baja	1,00	23,35
Muestreo 2		
Alta	1,00	24,85
Media	9,00	23,65
Baja	7,00	23,59
Muestreo 3		
Alta	8,00	23,80
Media	26,00	21,10
Baja	61,00	15,85
Muestreo 4		
Alta	2,00	24,70
Media	4,00	24,40
Baja	5,00	24,25
Muestreo 5		
Alta	3,25	24,51
Media	10,75	23,39
Baja	21,00	21,85

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XIV. **Parámetro B de SST del río Canalitos, época lluviosa**

Parte del río	SST (mg/l)	B
Muestreo 1		
Alta	57,00	16,45
Media	480,00	0,00
Baja	830,00	0,00
Muestreo 2		
Alta	121,00	8,53
Media	46,00	18,10
Baja	112,00	9,16
Muestreo 3		
Alta	402,00	0,00
Media	234,00	0,62
Baja	129,00	7,97
Muestreo 4		
Alta	90,00	11,50
Media	1 433,00	0,00
Baja	2 600,00	0,00
Muestreo 5		
Alta	21,00	21,85
Media	87,50	11,87
Baja	25,50	21,17

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Se utilizó la ecuación 4 para obtener el valor del parámetro B por medio de los datos obtenidos de los SST. Según las condiciones de dicha ecuación, el parámetro B se calculó de la siguiente forma:

$$B = 25 - (0,15 * SST) \quad \text{si } SST \leq \frac{100mg}{l}$$

$$B = 25 - (0,15 * 2) \quad \text{ya que } 2 \leq \frac{100mg}{l}$$

$$B = 24,70$$

Se utilizó la ecuación 4 para todos los muestreos, tomando en cuenta las condiciones de la ecuación.

4.1.4. Cálculo del valor del parámetro C de oxígeno disuelto (OD)

A continuación, se muestra el cálculo del valor del parámetro C de OC.

Tabla XV. Valor del parámetro C de OD de río Canalitos, época seca

Parte del río	OD (mg/l)	C
Muestreo 1		
Alta	7,40	18,50
Media	2,54	6,35
Baja	5,54	13,85
Muestreo 2		
Alta	3,01	5,25
Media	5,42	13,55
Baja	56,70	14,27
Muestreo 3		
Alta	3,51	8,77
Media	1,40	3,50
Baja	4,16	10,40
Muestreo 4		
Alta	3,42	8,55
Media	4,89	12,45
Baja	6,70	16,75
Muestreo 5		
Alta	4,33	10,84
Media	3,58	8,96
Baja	5,52	13,79

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XVI. Valor del parámetro C de OD del río Canalitos, época lluviosa

Parte del río	OD (mg/l)	C
Muestreo 1		
Alta	7,40	18,50
Media	6,32	15,80
Baja	8,10	20,25
Muestreo 2		
Alta	7,74	19,35
Media	6,03	15,07
Baja	8,09	20,22
Muestreo 3		
Alta	7,45	18,62
Media	5,87	14,67
Baja	8,17	20,43
Muestreo 4		
Alta	7,58	18,95
Media	6,62	16,55
Baja	8,40	21,00
Muestreo 5		
Alta	4,39	10,97
Media	3,54	8,85
Baja	7,09	17,72

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Se utilizó la ecuación 5 para obtener el valor del parámetro C por medio de los datos obtenidos del OD. Según las condiciones de dicha ecuación, el parámetro C se calculó de la siguiente forma:

$$C = 2,50 * OD \quad \text{si } OD < \frac{10mg}{l}$$

$$C = 2,50 * 7,40 \quad \text{ya que } 7,40 < \frac{10mg}{l}$$

$$C = 18,50$$

Se utilizó la ecuación 5 para todos los muestreos, tomando en cuenta las condiciones de la ecuación.

4.1.5. Cálculo del valor del parámetro D de conductividad eléctrica

En las siguientes tablas se muestra el cálculo de conductividad eléctrica.

Tabla XVII. Valor del parámetro D de conductividad eléctrica del río Canalitos, época seca

Parte del río	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	D
Muestreo 1		
Alta	315,00	14,59
Media	623,00	10,67
Baja	535,00	11,54
Muestreo 2		
Alta	296,00	14,95
Media	556,00	11,32
Baja	614,00	10,74
Muestreo 3		
Alta	605,00	10,84
Media	543,00	11,46
Baja	298,00	14,91
Muestreo 4		
Alta	447,00	12,58
Media	537,00	11,52
Baja	620,00	10,69
Muestreo 5		
Alta	416,00	12,99
Media	565,00	11,23
Baja	517,00	11,74

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XVIII. **Valor del parámetro D de conductividad eléctrica del río Canalitos, época lluviosa**

Parte del río	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	D
Muestreo 1		
Alta	198,60	17,24
Media	297,00	14,93
Baja	87,00	21,99
Muestreo 2		
Alta	181,10	17,77
Media	46,00	25,66
Baja	324,00	14,43
Muestreo 3		
Alta	164,00	18,34
Media	307,00	14,74
Baja	268,00	15,52
Muestreo 4		
Alta	178,00	17,87
Media	297,00	14,93
Baja	242,00	16,11
Muestreo 5		
Alta	210,00	16,92
Media	445,00	12,60
Baja	318,00	14,54

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Se utilizó la ecuación 6 para obtener el valor del parámetro D por medio de los datos obtenidos de la conductividad eléctrica. Según las condiciones de dicha ecuación, el parámetro D se calculó de la siguiente forma:

$$D = (3,6 - \log(CE)) * 15,40 \quad \text{si } CE \leq 4000 \frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}$$

$$D = (3,6 - \log(315)) * 15,40 \quad \text{ya que } 315 \leq 4000 \frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}$$

$$D = 14,59$$

Se utilizó la ecuación 6 para todos los muestreos, tomando en cuenta las condiciones de la ecuación.

4.1.6. Tablas resumen para ISQA

A continuación, las tablas XIX y XX, son resúmenes de los resultados del índice ISQA

Tabla XIX. Resultados ISQA en época seca

Parte del río	Puntaje ISQA	Calidad
Muestreo 1		
Alta	69,18	Regular
Media	41,20	Mala
Baja	52,94	Regular
Muestreo 2		
Alta	63,13	Regular
Media	45,79	Mala
Baja	48,87	Mala
Muestreo 3		
Alta	55,72	Regular
Media	46,95	Mala
Baja	62,82	Regular
Muestreo 4		
Alta	70,84	Regular
Media	58,52	Regular
Baja	76,70	Buena
Muestreo 5		
Alta	63,61	Buena
Media	43,27	Mala
Baja	55,78	Buena

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XX. **Resultados ISQA en época lluviosa**

Parte del río	Puntaje ISQA	Calidad
Muestreo 1		
Alta	58,49	Regular
Media	30,73	Mala
Baja	51,34	Regular
Muestreo 2		
Alta	60,55	Regular
Media	65,80	Regular
Baja	49,49	Mala
Muestreo 3		
Alta	37,51	Mala
Media	38,05	Mala
Baja	49,33	Mala
Muestreo 4		
Alta	72,27	Regular
Media	38,97	Mala
Baja	51,11	Regular
Muestreo 5		
Alta	67,08	Regular
Media	31,52	Mala
Baja	52,61	Regular

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Se utilizó la ecuación 1 para obtener el valor del puntaje ISQA por medio de los datos obtenidos de los distintos parámetros. Según las condiciones de dicha ecuación, el puntaje ISQA se calculó de la siguiente forma:

$$ISQA = 0,98 (12,6 + 24,7 + 18,5 + 14,59)$$

$$ISQA = 69,18$$

Se utilizó la ecuación 1 para todos los muestreos, tomando en cuenta las condiciones de la ecuación.

4.2. Muestra de cálculo para la determinación del índice biótico BMWP-CR

A continuación, se explica la muestra de cálculo para la determinación del índice biótico BMWP-CR.

Tabla XXI. **Macroinvertebrados encontrados en el primer muestro de época lluviosa**

Ubicación	Orden	Familia	Puntaje BMWP	BMWP-CR
Parte Baja	<i>Diptera</i>	<i>Musicidae</i>	9	12
		<i>Psychodidae</i>	3	
Parte Media	<i>Diptera</i>	<i>Simuliidae</i>	4	7
		<i>Psychodidae</i>	3	
Parte Alta	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	11
		<i>Tipulidae</i>	4	
	<i>Coleóptero</i>	<i>Limnichidae</i>	5	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXII. **Macroinvertebrados encontrados en el segundo muestro de época lluviosa**

Ubicación	Orden	Familia	Puntaje BMWP	BMWP-CR
Parte Baja	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	7
	<i>Coleóptero</i>	<i>Hydraenidae</i>	5	
Parte Media	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	7
	<i>Coleóptero</i>	<i>Limnichidae</i>	5	
Parte Alta	<i>Diptera</i>	<i>Empididae</i>	6	9
		<i>Cahoboridae</i>	3	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXIII. **Macroinvertebrados encontrados en el tercer muestreo de época lluviosa**

Ubicación	Orden	Familia	Puntaje BMWP	BMWP-CR
Parte Baja	<i>Diptera</i>	<i>Simuliidae</i>	4	13
		<i>Empididae</i>	4	
		<i>Chironomidae</i>	2	
		<i>Psychodidae</i>	3	
Parte Media	<i>Diptera</i>	<i>Ceratopogonidae</i>	4	13
		<i>Psychodidae</i>	3	
		<i>Chironomidae</i>	2	
		<i>Dixidae</i>	4	
Parte Alta	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	2

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXIV. **Macroinvertebrados encontrados en el cuarto muestro de época lluviosa**

Ubicación	Orden	Familia	Puntaje BMWP	BMWP-CR
Parte Baja	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	19
		<i>Tipulidae</i>	4	
	<i>Coleóptero</i>	<i>Dytiscidae</i>	4	
	<i>Hemiptera</i>	<i>Pleidae</i>	4	
		<i>Corixidae</i>	4	
		<i>Syrphidae</i>	1	
Parte Media	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	9
		<i>Psychodidae</i>	3	
		<i>Ceratopogonidae</i>	4	
Parte Alta	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	8
		<i>Syrphidae</i>	1	
	<i>Coleóptero</i>	<i>Limnichidae</i>	5	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXV. **Macroinvertebrados encontrados en el quinto muestreo de época lluviosa**

Ubicación	Orden	Familia	Puntaje BMWP	BMWP-CR
Parte Baja	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	9
		<i>Culicidae</i>	2	
	<i>Coleóptero</i>	<i>Limnichidae</i>	5	
Parte Media	<i>Diptera</i>	<i>Dolichopodidae</i>	4	6
		<i>Chironomidae</i>	2	
Parte Alta	<i>Coleóptero</i>	<i>Lutrochidae</i>	7	16
		<i>Noteridae</i>	4	
		<i>Hydroscaphidae</i>	3	
	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXVI. **Macroinvertebrados encontrados en el primer muestreo de época seca**

Ubicación	Orden	Familia	Puntaje BMWP	BMWP-CR
Parte Baja	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	9
		<i>Tipulidae</i>	4	
		<i>Psychodidae</i>	3	
Parte Media	<i>Diptera</i>	<i>Simuliidae</i>	4	6
		<i>Chironomidae</i>	2	
Parte Alta	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	13
		<i>Empididae</i>	6	
	<i>Coleóptero</i>	<i>Limnichidae</i>	5	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXVII. **Macroinvertebrados encontrados en el segundo muestreo de época seca**

Ubicación	Orden	Familia	Puntaje BMWP	BMWP-CR
Parte baja	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	7
	<i>Coleóptero</i>	<i>Limnichidae</i>	5	
Parte media	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	6
		<i>Dixidae</i>	4	
Parte alta	<i>Coleóptero</i>	<i>Limnichidae</i>	5	14
	<i>Diptera</i>	<i>Empididae</i>	6	
		<i>Cahoboridae</i>	3	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXVIII. **Macroinvertebrados encontrados en el tercer muestreo de época seca**

Ubicación	Orden	Familia	Puntaje BMWP	BMWP-CR
Parte Baja	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	11
		<i>Tipulidae</i>	4	
	<i>Coleóptero</i>	<i>Limnichidae</i>	5	
Parte Media	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	5
		<i>Psychodidae</i>	3	
Parte Alta	<i>Coleóptero</i>	<i>Limnichidae</i>	5	15
		<i>Noteridae</i>	4	
	<i>Diptera</i>	<i>Empididae</i>	6	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXIX. **Macroinvertebrados encontrados en el cuarto muestreo de época seca**

Ubicación	Orden	Familia	Puntaje BMWP	BMWP-CR
Parte Baja	<i>Coleóptero</i>	<i>Limnichidae</i>	5	11
	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	
		<i>Tipulidae</i>	4	
Parte Media	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	9
		<i>Psychodidae</i>	3	
		<i>Dixidae</i>	4	
Parte Alta	<i>Coleóptero</i>	<i>Limnichidae</i>	5	14
	<i>Diptera</i>	<i>Empididae</i>	6	
		<i>Cahoboridae</i>	3	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXX. **Macroinvertebrados encontrados en el quinto muestreo de época seca**

Ubicación	Orden	Familia	Puntaje BMWP	BMWP-CR
Parte Baja	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	11
		<i>Tipulidae</i>	4	
	<i>Coleóptero</i>	<i>Limnichidae</i>	5	
Parte Media	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	6
		<i>Dixidae</i>	4	
Parte Alta	<i>Coleóptero</i>	<i>Limnichidae</i>	5	15
		<i>Noteridae</i>	4	
	<i>Diptera</i>	<i>Empididae</i>	6	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

El índice BMWP-CR es simplemente la sumatoria de las puntuaciones de las diferentes familias encontradas en la sección muestreada del río, su cálculo es de la siguiente manera:

Ecuación 7: Cálculo BMWP-CR

$$BMWP - CR = \sum \text{puntuación de familias encontradas}$$

$$BMWP - CR = 9 + 3 = 12$$

Se utilizó el mismo procedimiento para calcular el puntaje BMWP-CR en todos los puntos muestreados.

4.2.1. Tabla resumen para BMWP-CR

A continuación, las tablas XIX y XX, son resúmenes de los resultados del índice ISQA.

Tabla XXXI. **Resultados BMWP-CR en época seca**

Parte del río	Puntaje BMWP-CR	Calidad
Muestreo 1		
Alta	13	Muy Mala
Media	6	Muy Mala
Baja	9	Muy Mala
Muestreo 2		
Alta	14	Muy Mala
Media	6	Muy Mala
Baja	7	Muy Mala
Muestreo 3		
Alta	15	Muy Mala
Media	5	Muy Mala
Baja	11	Muy Mala
Muestreo 4		
Alta	14	Muy Mala
Media	9	Muy Mala
Baja	11	Muy Mala
Muestreo 5		
Alta	15	Muy Mala
Media	6	Muy Mala
Baja	11	Muy Mala

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXXII. **Resultados BMWP-CR en época lluviosa**

Parte del río	Puntaje BMWP-CR	Calidad
Muestreo 1		
Alta	11	Muy Mala
Media	7	Muy Mala
Baja	12	Muy Mala
Muestreo 2		
Alta	9	Muy Mala
Media	7	Muy Mala
Baja	7	Muy Mala
Muestreo 3		
Alta	2	Muy Mala
Media	13	Muy Mala
Baja	13	Muy Mala
Muestreo 4		
Alta	8	Muy Mala
Media	9	Muy Mala
Baja	19	Mala
Muestreo 5		
Alta	16	Mala
Media	6	Muy Mala
Baja	9	Muy Mala

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

4.3. **Análisis estadístico de los datos**

Para resumir los resultados obtenidos, se realizó el cálculo de una media o promedio aritmético, en el caso de los resultados de los índices BMWP-CR y el ISQA por cada muestreo realizado.

Ecuación 8: Media muestral de un conjunto numérico

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Por lo tanto, el primer conjunto de resultados del índice ISQA es:

Tabla XXXIII. **Conjunto de resultados ISQA para la parte baja del río Canalitos en época lluviosa**

ÉPOCA LLUVIOSA	
Parte Baja: Río Canalitos	
Muestreo	Resultado ISQA
1	51,34
2	49,49
3	49,33
4	51,11
5	52,61

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXXIV. **Conjunto de resultados ISQA para la parte media del río Canalitos en época lluviosa**

ÉPOCA LLUVIOSA	
Parte Media: Río Canalitos	
Muestreo	Resultado ISQA
1	30,73
2	65,80
3	38,05
4	38,97
5	31,52

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXXV. **Conjunto de resultados ISQA para la parte alta del río Canalitos en época lluviosa**

ÉPOCA LLUVIOSA	
Parte Alta: Río Canalitos	
Muestreo	Resultado ISQA
1	58,49
2	60,55
3	37,51
4	72,27
5	67,08

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXXVI. **Conjunto de resultados ISQA para la parte baja del río Canalitos en época seca**

ÉPOCA SECA	
Parte Baja: Río Canalitos	
Muestreo	Resultado ISQA
1	52,94
2	48,87
3	62,82
4	76,70
5	55,78

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXXVII. **Conjunto de resultados ISQA para la parte media del río
Canalitos en época seca**

ÉPOCA SECA	
Parte Media: Río Canalitos	
Muestreo	Resultado ISQA
1	41,30
2	45,79
3	46,49
4	58,52
5	43,27

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXXVIII. **Conjunto de resultados ISQA para la parte alta del río
Canalitos en época seca**

ÉPOCA SECA	
Parte Alta: Río Canalitos	
Muestreo	Resultado ISQA
1	69,18
2	63,13
3	55,72
4	70,84
5	63,61

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXXIX. **Conjunto de resultados BMWP-CR para la parte baja del río Canalitos en época lluviosa**

ÉPOCA LLUVIOSA	
Parte Baja: Río Canalitos	
Muestreo	Resultado BMWP-CR
1	12
2	7
3	13
4	19
5	9

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XL. **Conjunto de resultados BMWP-CR para la parte media del río Canalitos en época lluviosa**

ÉPOCA LLUVIOSA	
Parte Media: Río Canalitos	
Muestreo	Resultado BMWP-CR
1	7
2	7
3	13
4	9
5	6

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XLI. **Conjunto de resultados BMWP-CR para la parte alta del río Canalitos en época lluviosa**

ÉPOCA LLUVIOSA	
Parte Alta: Río Canalitos	
Muestreo	Resultado BMWP-CR
1	11
2	9
3	2
4	8
5	16

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XLII. **Conjunto de resultados BMWP-CR para la parte baja del río Canalitos en época seca**

ÉPOCA SECA	
Parte Baja: Río Canalitos	
Muestreo	Resultado BMWP-CR
1	9
2	7
3	11
4	11
5	11

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XLIII. **Conjunto de resultados BMWP-CR para la parte media del río Canalitos en época lluviosa**

ÉPOCA SECA	
Parte Media: Río Canalitos	
Muestreo	Resultado BMWP-CR
1	8
2	6
3	5
4	9
5	6

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XLIV. **Conjunto de resultados BMWP-CR para la parte alta del río Canalitos en época seca**

ÉPOCA SECA	
Parte Alta: Río Canalitos	
Muestreo	Resultado BMWP-CR
1	13
2	14
3	15
4	14
5	15

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Para los conjuntos de resultados se utilizó la ecuación 8, la media según la Tabla XXXIII es:

$$\overline{ISQA} = \frac{51,34 + 49,49 + 49,33 + 51,11 + 52,61}{5}$$

$$\overline{ISQA} = 50,77$$

Se utilizó la ecuación 8 para el resto de los conjuntos de datos de resultados de cada índice.

4.4. Tablas resumen de resultados

A continuación, se muestran las tablas resumen de los resultados para cada parte del río en los dos índices utilizados.

4.4.1. Tablas resumen para ISQA

A continuación, se muestran los resúmenes de los resultados obtenidos para el ISQA.

Tabla XLV. **Resultados para el ISQA durante época lluviosa**

Ubicación	Puntaje ISQA	Calidad	Color
Alta	59,18	Regular	Verde
Media	41,01	Mala	Amarillo
Baja	50,77	Regular	Verde

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XLVI. **Resultados para el ISQA durante época seca**

Ubicación	Puntaje ISQA	Calidad	Color
Alta	64,50	Regular	Verde
Media	47,08	Mala	Amarillo
Baja	59,42	Regular	Verde

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

4.4.2. Tablas resumen para índice BMWP-CR

A continuación, se presentan los resúmenes de resultados obtenidos para el índice biótico BMWP-CR

Tabla XLVII. **Resultados para el índice BMWP-CR durante época lluviosa**

Ubicación	Puntaje BMWP-CR	Calidad	Color
Alta	12	Muy mala	Rojo
Media	8,4	Muy mala	Rojo
Baja	9,2	Muy mala	Rojo

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XLVIII. **Resultados para el índice BMWP-CR durante época lluviosa**

Ubicación	Puntaje BMWP-CR	Calidad	Color
Alta	9,8	Muy mala	Rojo
Media	6,8	Muy mala	Rojo
Baja	14,2	Muy mala	Rojo

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

4.5. Correlación entre ISQA e índice biótico BMWP-CR

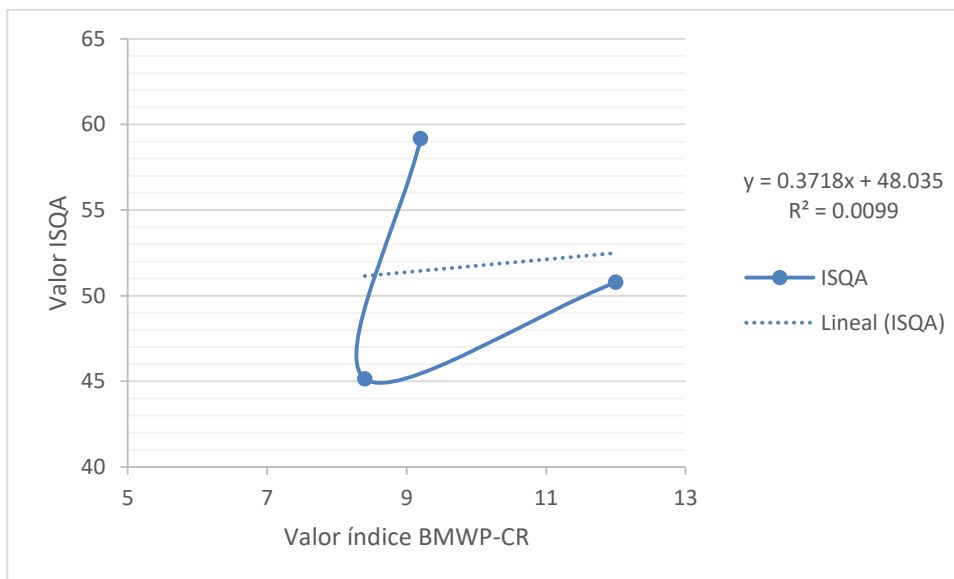
A continuación, se muestra la correlación entre el ISQA y el índice biótico BMWP-CR:

Tabla XLIX. **Correlación entre ISQA y BMWP-CR en época lluviosa**

ÉPOCA LLUVIOSA		
Ubicación	ISQA promedio	BMWP-CR promedio
Parte Baja	50,78	12
Parte Media	45,15	8,4
Parte Alta	59,18	9,2

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 11. **Gráfica de correlación entre ISQA e índice biótico BMWP-CR en época lluviosa**



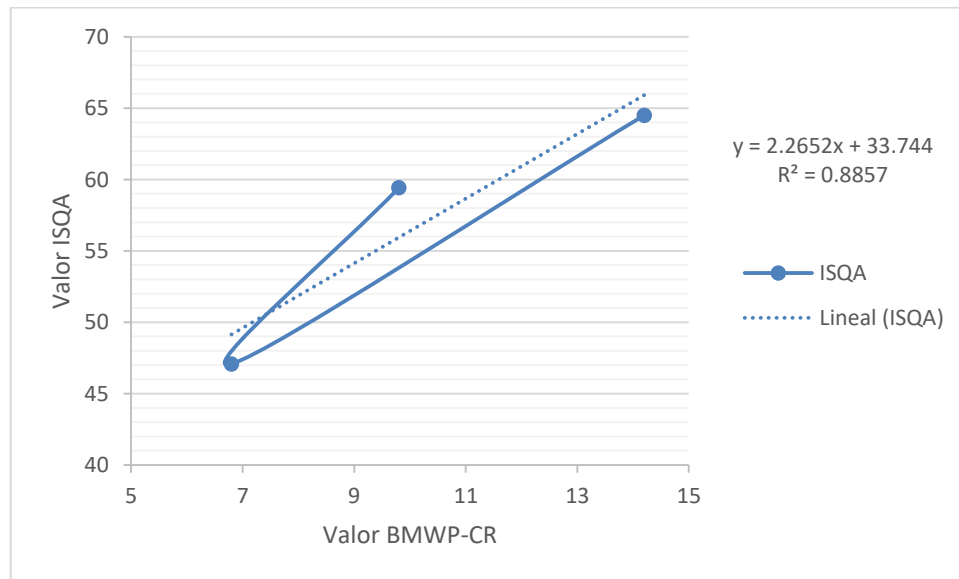
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla L. **Correlación entre el ISQA y el índice BMWP-CR en época seca**

ÉPOCA LLUVIOSA		
Ubicación	ISQA promedio	BMWP-CR promedio
Parte Baja	59,42	9,8
Parte Media	47,08	6,8
Parte Alta	64,50	14,2

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 12. **Gráfica de correlación entre ISQA e índice biótico BMWP-CR en época seca**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.6. Determinación del tipo de correlación entre el ISQA y el índice biótico BMWP-CR

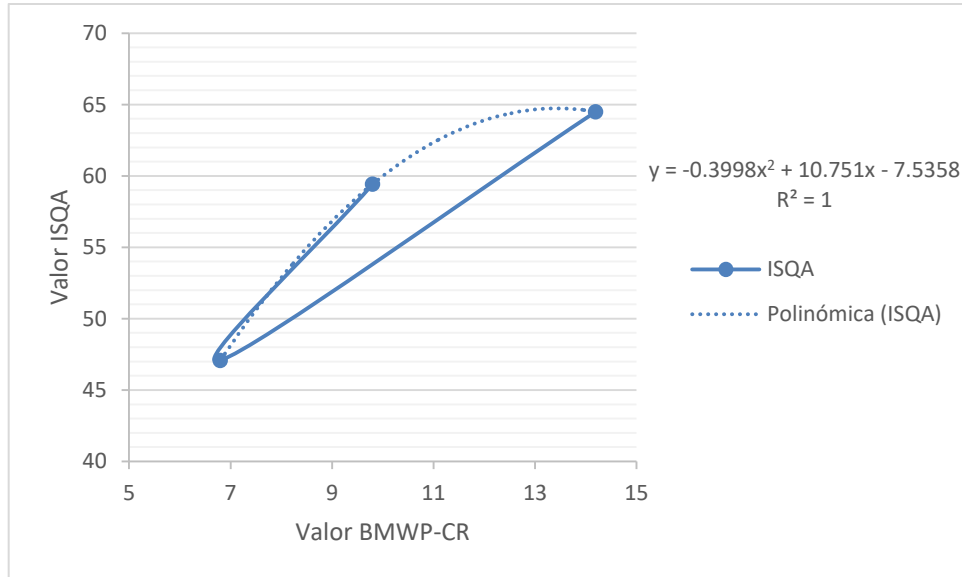
Como se logra evidenciar en las figuras anteriores, el tipo de correlación entre los índices ISQA y BMWP-CR no fue proporcional para la época seca, el coeficiente de correlación R^2 es muy lejano a 1, por lo tanto, se demuestra que no existe una relación entre ellos; mientras que en la época lluviosa existe una mayor relación entre los datos, fue necesario establecer qué tipo de correlación se ajustaba mejor a los resultados obtenidos. De esta manera, se encontró que la tendencia de la relación índice se acopla perfectamente a una ecuación polinómica de segundo grado, con un coeficiente de correlación igual a 1, lo que indica una relación polinómica exacta.

Tabla LI. **Correlación entre BMWP-CR e ISQA época seca**

ÉPOCA LLUVIOSA		
Ubicación	ISQA promedio	BMWP-CR promedio
Parte Baja	50,78	12
Parte Media	45,15	8,4
Parte Alta	59,18	9,2

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 13. **Gráfica de correlación polinómica entre BMWP-CR e ISQA para época seca**



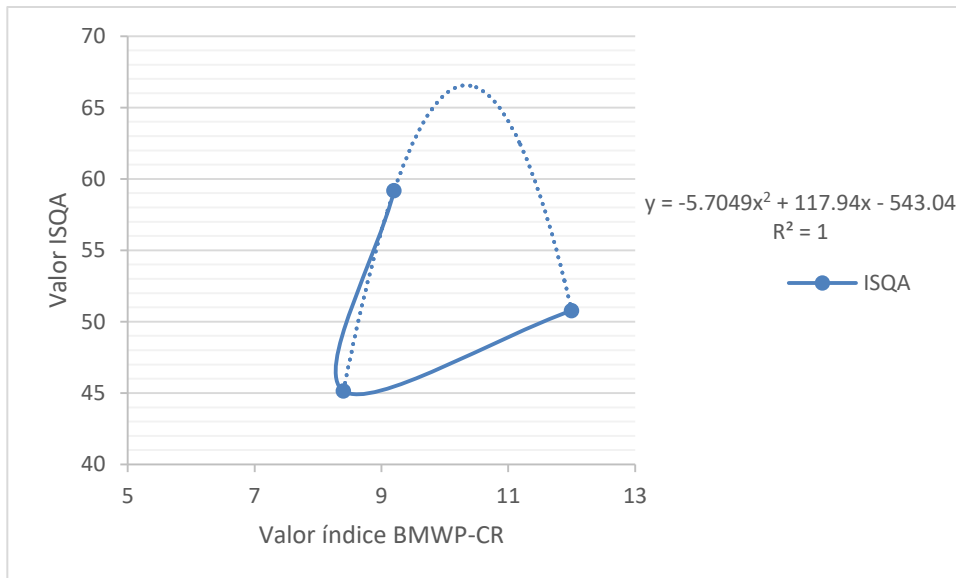
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla LII. **Correlación entre BMWP-CR e ISQA época lluviosa**

ÉPOCA LLUVIOSA		
Ubicación	ISQA promedio	BMWP-CR promedio
Parte Baja	59,42	9,8
Parte Media	47,08	6,8
Parte Alta	64,50	14,2

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 14. **Gráfica de correlación polinómica entre BMWP-CR e ISQA para época lluviosa**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.7. **Tablas resumen de las variables evaluadas para cada índice utilizado**

En las tablas siguientes se explica el resumen de las variables evaluadas para el análisis de cada índice utilizado.

Tabla LIII. **Resumen de las variables promedio evaluadas para época seca**

EPOCA SECA								
Ubicación	BMWP-CR	ISQA	SST (mg/l)	T (°C)	DQO (mg/l)	OD (mg/l)	Cond. (µS/cm)	Familias de macroinvertebrados
Parte baja	9,80	59,42	21,00	17,79	36,00	5,52	517,00	<i>Chironomidae, culicidae, tipulidae, psychodidae, limnichidae,</i>
Parte media	6,80	47,08	10,75	21,35	58,75	3,59	564,80	<i>Simuliidae, chironomidae, dixidae, psychodidae.</i>
Parte alta	14,20	64,50	3,25	20,16	16,00	4,34	415,80	<i>Chironomidae, empididae, limnichidae, cahoboridae, noteridae</i>
Promedio microcuenca	10,27	57,00	11,67	19,77	36,92	4,48	499,20	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla LIV. **Resumen de las variables evaluadas para época lluviosa**

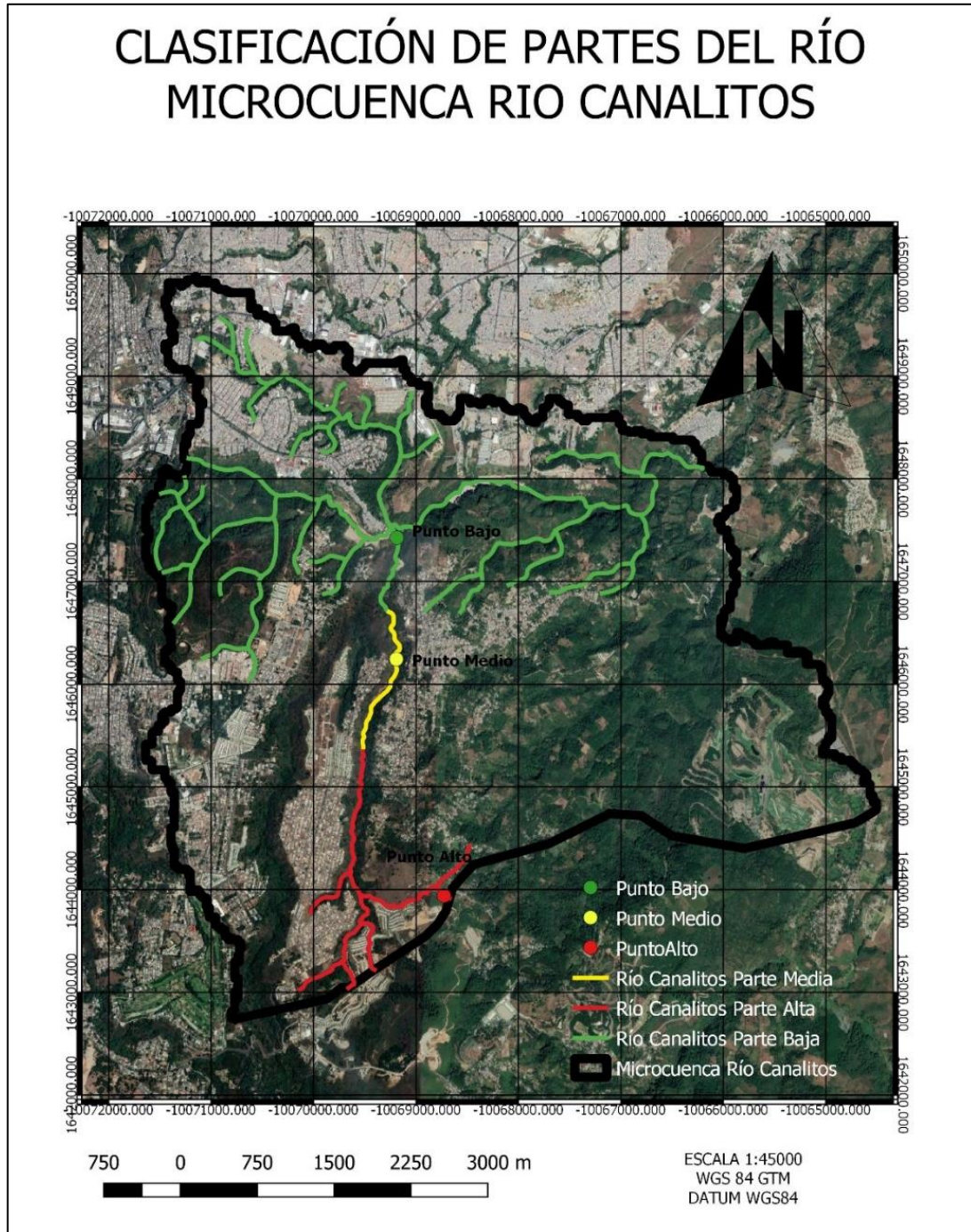
EPOCA SECA								
Ubicación	BMWP-CR	ISQA	SST (mg/l)	T (°C)	DQO (mg/l)	OD (mg/l)	Cond. (µS/cm)	Familias de macroinvertebrados
Parte baja	12	50,78	739,30	20,30	43,80	7,97	247,80	<i>Muscidae, psychodidae, chironomidae, hydraenidae, simuliidae, empididae, tipulidae, dytiscidae, pleidae, corixidae, syrphidae, culicidae, limnichidae</i>
Parte media	8,4	45,15	456,10	22,92	48,40	5,68	278,40	<i>Simuliidae, psychodidae, chironomidae, limnichidae, ceratopogonidae, dixidae, dolichopodida.</i>
Parte alta	9,2	59,18	138,20	20,96	25,40	6,91	186,34	<i>Limnichidae, empididae, cahoboridae, chironomidae, syrphidae, lutrochidae, noteridae, hydroscaphidae.</i>
Promedio microcuenca	9,87	51,70	444,53	21,40	39,20	6,85	237,51	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

4.8. Mapas

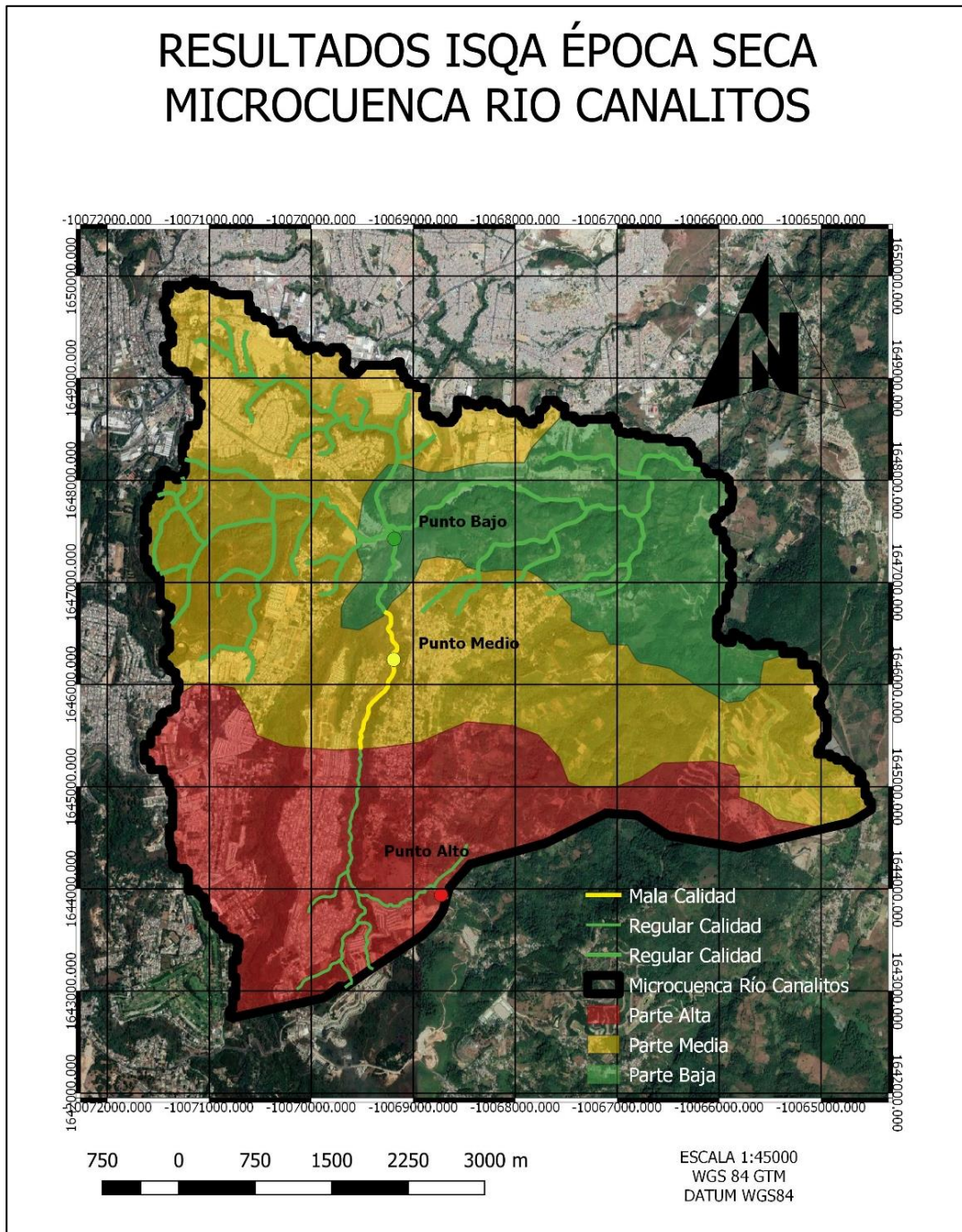
La separación de las partes del Río Canalitos se realizó de manera distinta a la separación de las partes de la Microcuenca ya que, algunos ríos de los que aportan agua al cauce principal aportan solamente a la parte baja del río, a pesar de encontrarse en la parte media de la cuenca en cuestiones topográficas. En la figura 15 se puede observar el criterio de separación para las partes del río. En las figuras 16 a la figura 19 se observan los resultados para ambos índices en las dos épocas muestreadas.

Figura 15. Partes del Río Canalitos



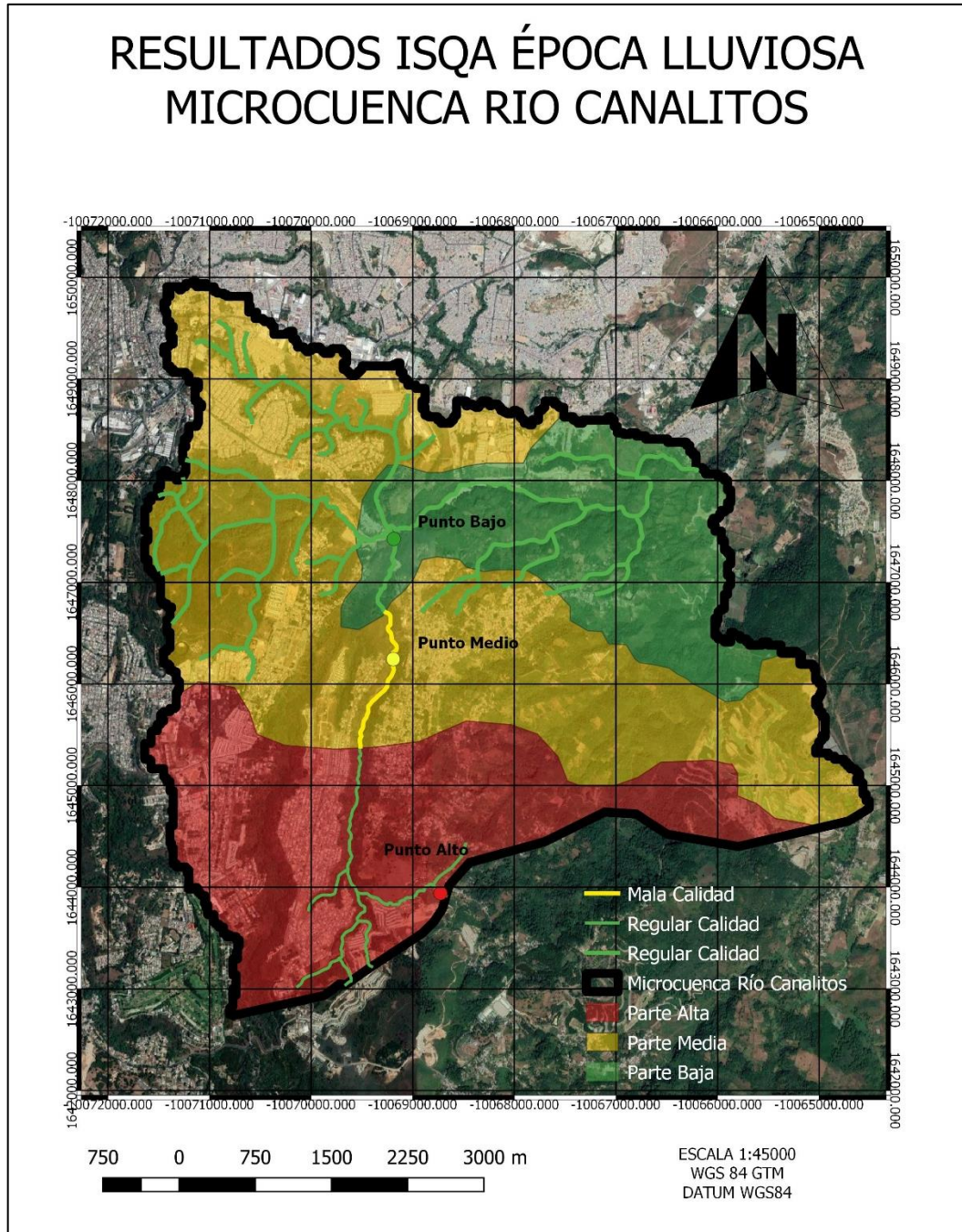
Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Figura 16. Resultados ISQA para la época seca



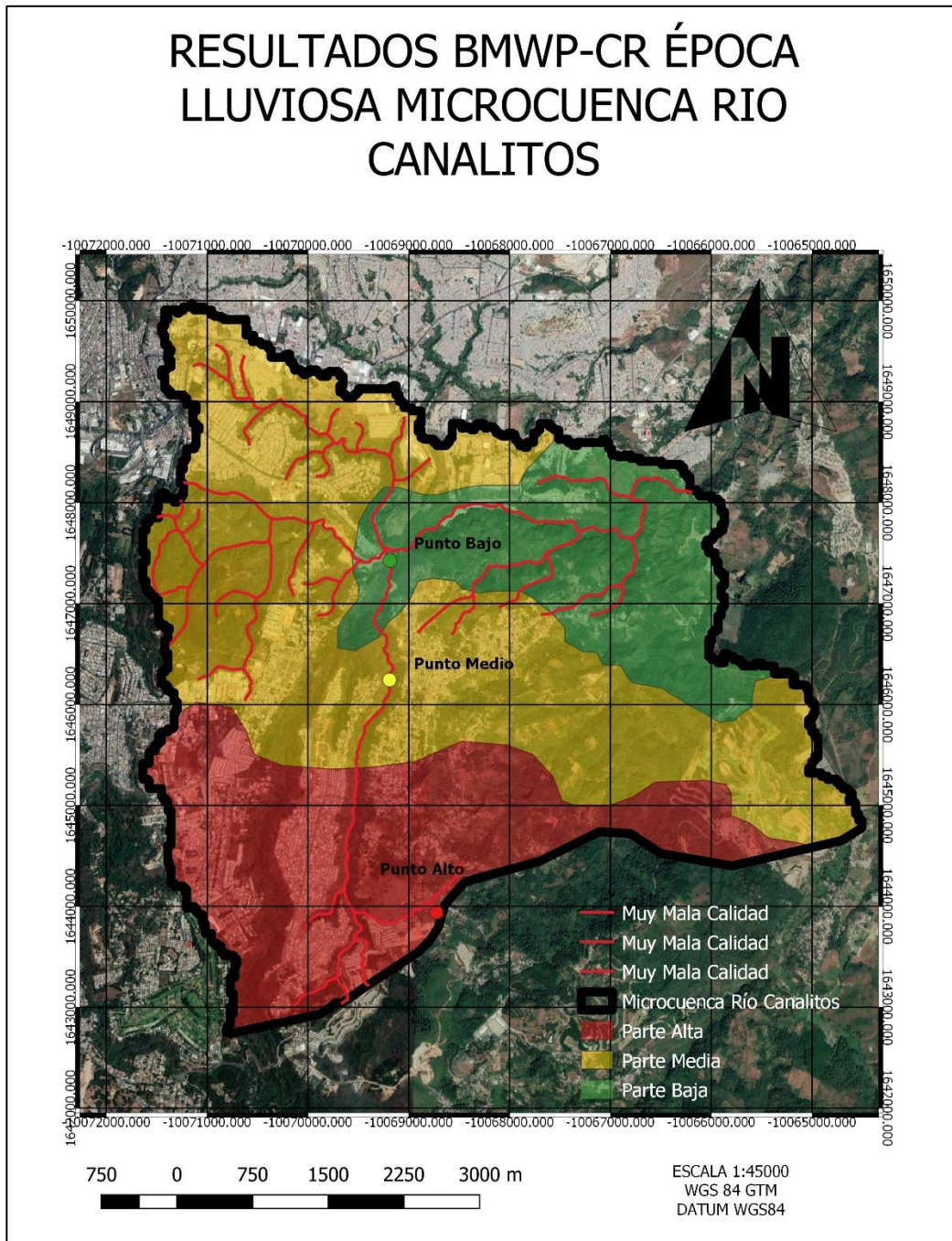
Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Figura 17. Resultados ISQA para época lluviosa



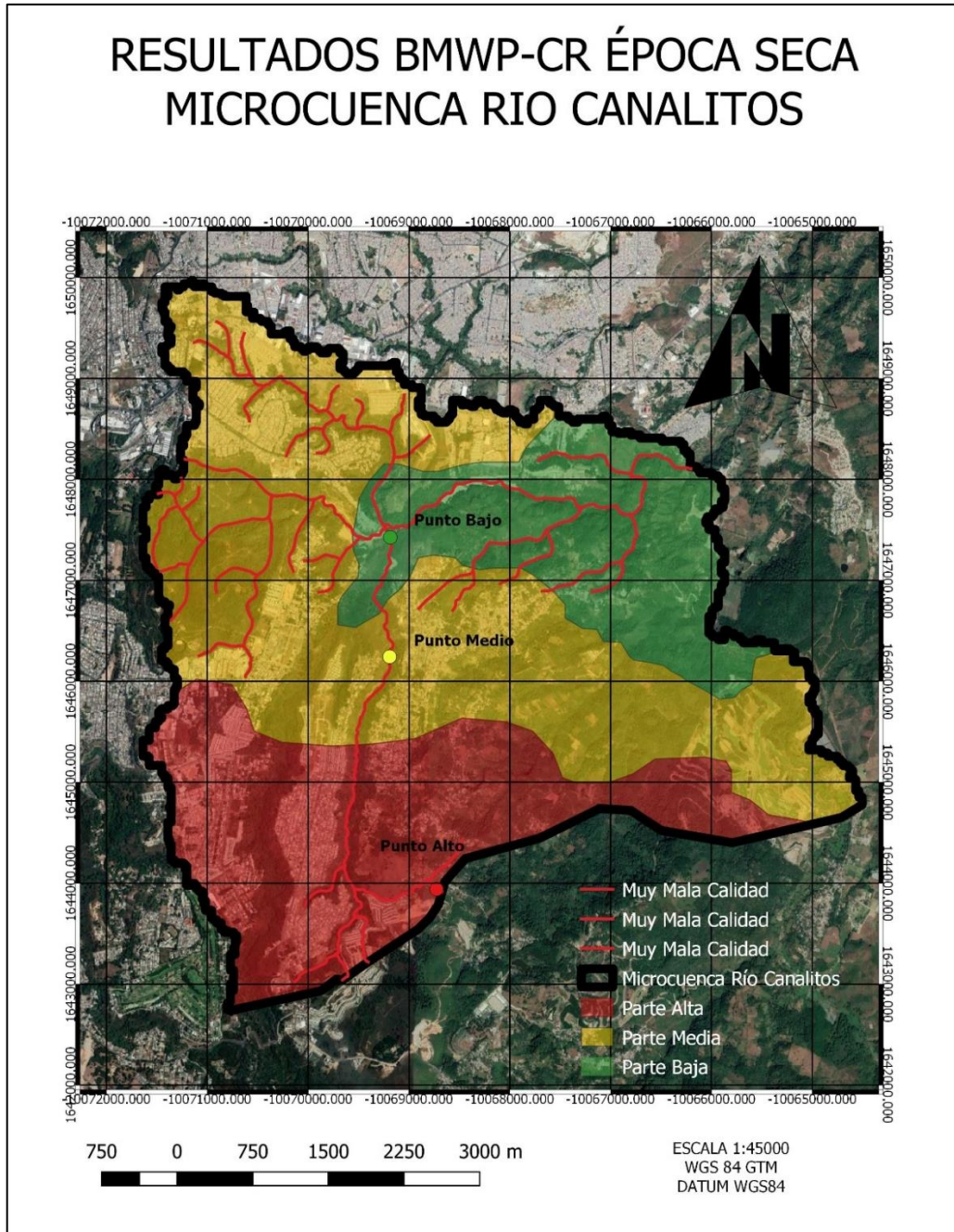
Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Figura 18. Resultados BMWP-CR para época seca



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Figura 19. Resultados BMWP-CR para época lluviosa



Fuente: wlaboración propia, empleando QGIS.

5. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Por medio de los muestreos que se realizaron en época seca y en época lluviosa, en cada punto de muestreo a lo largo del río Canalitos (identificados como la red de muestreo). Para la obtención de las muestras se realizó una visita de reconocimiento y así determinar los puntos de muestreo más convenientes en representatividad y accesibilidad. Se obtuvieron especímenes de macroinvertebrados, los cuales fueron utilizados para determinar el valor del índice biótico BMWP-CR y, mediante el análisis de cinco parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica y demanda química de oxígeno), se determinó el valor del Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA).

Para la obtención de resultados, la primera parte consistió en el cálculo de los parámetros necesarios para el ISQA. Este índice se basa en la utilización de 5 parámetros de fácil obtención, tanto *in situ* como en laboratorio. Agregado a esto, al obtener los parámetros en el punto de muestreo brinda una mayor certeza en la fiabilidad de los valores, ya que son verdaderamente representativos de la calidad del agua en el cuerpo de estudio.

Posterior a realizar los cálculos, se logró determinar que el índice biótico, BMWP-CR promedió puntajes muy bajos de calidad, tanto en época lluviosa como en época seca, dando como resultado una calidad del agua “muy mala” (según los puntajes de las tablas VI y VII), lo que evidencia una alta presencia de contaminación y deficiencia en la calidad del agua, por lo que no hubo una variación representativa de las especies de macroinvertebrados que se encontraron en los puntos de muestreo.

En el caso del puntaje para el ISQA, se observaron mejores resultados, se obtuvieron resultados desde mala a regular en los diferentes puntos de la red de muestreo; mientras que los valores promedio por época fueron: 51,78 para la época lluviosa y, 57,00 para época seca; por lo que los resultados por época demuestran una calidad regular.

Al realizar comparaciones entre las tendencias que toman los valores promedio del índice ISQA durante la época lluviosa y la época seca, se logró observar que tiene una tendencia polinómica, donde se puede observar que el punto medio del cauce utilizado como punto de muestreo, es en ambas épocas, el punto con el puntaje más bajo del índice ISQA. También se puede observar que el punto bajo de la red de muestreo es la que muestra los más altos puntajes ISQA en ambas épocas.

Al realizar un análisis de lo anteriormente descrito, pero tomando en cuenta los valores promedio obtenidos, tanto para el índice BMWP-CR como para el ISQA, se observó un comportamiento bastante diferente. La única tendencia que logró ser identificada en los resultados del índice BMWP-CR fue que en el punto medio se tenían los puntajes más bajos, aunque en todos los puntos de muestreo se obtuvo una muy mala calidad del agua.

El comportamiento en el índice BMWP-CR fue el opuesto entre las épocas muestreadas, siempre manteniendo el punto medio como el de menor calidad; durante la época seca se obtuvo un mejor puntaje en la parte baja del río, mientras que en la época lluviosa se obtuvo una mejor calidad en la parte alta del río. Aun teniendo en cuenta esto, no se tuvo variación con los resultados obtenidos en ambas épocas, ya que los valores son demasiado bajos, estos se encuentran en el rango más bajo de calidad del agua para el índice y el resultado se interpreta como aguas altamente contaminadas y en estado crítico.

Al realizar un análisis individual del comportamiento de cada uno de los parámetros fisicoquímicos necesarios para el cálculo del ISQA, es posible determinar cuál de estos tuvo un efecto más relevante en los resultados del valor del índice.

Para los valores promedio del parámetro de temperatura para cada punto durante la época lluviosa se observó una leve variación, el valor promedio para todo el cauce fue de 21,40 °C, por lo que no presentó una mayor influencia sobre el resto de los valores del ISQA. Durante la época seca se pudo observar un comportamiento similar en cuanto a la temperatura del cuerpo de agua, levemente más frío, el valor promedio para el cauce fue de 19,77 °C. Con esto se puede deducir que las variaciones de temperatura promedio durante las dos épocas de muestreo no fueron influyentes en el puntaje final del ISQA. La línea de tendencia del comportamiento por punto de muestreo fue similar para ambas épocas, con un valor mínimo en el punto más bajo y un valor máximo en el punto medio.

En cuanto a los sólidos en suspensión totales (SST), estos cambiaron considerablemente entre la época seca y época lluviosa. Durante la época seca, se obtuvieron valores muy bajos, y un comportamiento lineal positivo a lo largo del cauce del río. Es decir, en la parte alta se obtuvieron los menores valores de SST, mientras que en el punto más bajo se obtuvieron los valores más altos. Durante la época lluviosa se pudo observar el mismo comportamiento a lo largo del cauce, con un comportamiento lineal positivo, pero con valores mucho más altos de SST. El comportamiento de los SST a través de lo largo del cauce es de suponerse, ya que mientras más se avanza en el recorrido del río, este arrastra más sólidos que se suman al cuerpo de agua. De esta manera también puede explicarse el aumento del valor de SST

durante la época lluviosa, ya que la lluvia de la época arrastra material del suelo y lo añade al cauce, aumentando así la carga de sólidos al agua.

El comportamiento de la demanda química de oxígeno (DQO), no varió significativamente entre ambas épocas muestreadas. La medición promedio de DQO durante la época lluviosa fue de 39,20 mg/l, mientras que en la época seca fue de 36,92 mg/l, por lo que se puede decir que la calidad del agua no se ve afectada, entre ambas épocas, por este parámetro en cuanto a la cantidad de contaminantes y carga orgánica e inorgánica que se encuentra en el agua.

En relación con el comportamiento de las mediciones de DQO en cada muestreo a lo largo del cauce, se observó la misma tendencia en ambas épocas de muestreo. El punto con una menor DQO fue en ambas épocas la parte alta del cauce, mientras que el punto con una mayor DQO fue la parte media del cauce. Durante el muestreo se pudo observar que, corriente arriba al punto de muestreo en el punto medio, había una descarga de aguas residuales, por lo que se puede decir que esta es la principal razón en los niveles de DQO en este punto.

En el caso de la medición de oxígeno disuelto, se alcanzó a observar una disminución en su concentración durante la época seca. Los valores promedio del OD durante la época seca para el río Canalitos es de 4,48 mg/l, mientras que para la época lluviosa se obtuvo un promedio de 6,85 mg/l.

Tanto en la época lluviosa como en la época seca, se obtuvieron los valores mínimos de OD en la parte media del río; siendo estos valores de 5,68 mg/l y 3,59 mg/l, respectivamente. Esto puede ser explicado por la alta eutrofización que presenta el cauce en este punto, esto por la alta carga de nutrientes que se presentan por una descarga de aguas residuales aguas

arriba. El máximo valor de OD encontrado fue en la parte baja; siendo de 7,97 mg/l para época lluviosa y de 5,52 mg/l para la época seca. Este aumento en la concentración de oxígeno se debe a que durante las caídas de agua a lo largo de la distancia entre ambos puntos se pueden encontrar, estos movimientos de agua provocan una oxigenación, aumentando así la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

En el caso de la conductividad eléctrica en el cuerpo de agua, se pudo apreciar un claro incremento durante la época seca, aunque se pudo observar un comportamiento similar con relación a los puntos de muestreo entre ambas épocas. Durante la época lluviosa se obtuvo una conductividad eléctrica de 237,51 $\mu\text{S/cm}$, mientras que en la época seca se obtuvo un promedio de 499,20 $\mu\text{S/cm}$. En ambas épocas medidas se obtuvo un valor mínimo promedio en la parte alta; 415,80 $\mu\text{S/cm}$, para la época seca y, 186,34 $\mu\text{S/cm}$, para la época lluviosa. De igual manera, para ambas épocas se obtuvo el valor máximo en la parte media del río; 564,80 $\mu\text{S/cm}$, para la época seca y, 278,40 $\mu\text{S/cm}$, en época lluviosa.

Al realizar análisis en la biodiversidad en la microcuenca, usando como referencia las muestras de familias obtenidas, tanto para la época seca como para la época lluviosa, fue posible determinar los punteos correspondientes a cada familia para obtener el puntaje BMWP-CR correspondiente a un punto específico en el cuerpo de agua.

Durante la época lluviosa se pudo observar la prevalencia de una familia en específico: *Chironomidae*, la cual se pudo observar en los tres puntos de muestreo; esta familia tiene un puntaje de 2 en el índice BMWP-CR. Otra de las familias con mayor presencia en los muestreos es la *Psychodidae*, la cual tiene un puntaje de 3 en el índice BMWP-CR. Estos punteos son indicadores de una

mala calidad del agua, ya que al tener estos punteos estas familias significan que son muy tolerantes a la presencia de contaminantes. Por otro lado, también se pudieron encontrar familias con un puntaje alto, como *Lutrochidae* y *Muscidae*; con 7 y 9 puntos respectivamente, sin embargo, estas no se encontraron en gran cantidad y su hallazgo se redujo a un muestreo.

Para la época seca se observó nuevamente la predominancia de la familia *Chironomidae* a lo largo del cauce, de igual manera se pudo observar un incremento en el hallazgo de especímenes de la familia *Limnichidae*, los cuales tienen una puntuación de 5. Durante la época seca se pudo observar una mayor presencia de la familia *Empididae*, lo cual denota una leve mejora en la calidad del agua.

Al realizar el análisis de todos los resultados obtenidos se puede concluir que el punto de muestreo que presenta la mejor calidad del agua es el punto alto, ya que en este punto se tiene poca presencia antropológica y no se afecta en gran medida la calidad del agua. El punto que muestra la peor calidad del agua es el punto medio, esto se debe a la alta carga de contaminantes que se presentan entre el punto alto y el punto medio, ya que en este punto se lograron observar varias descargas de aguas residuales durante las visitas de reconocimiento. Sin embargo, en el punto bajo de la cuenca la calidad del agua presenta una mejora, esto se debe a que las caídas de agua que se presentan por la diferencia de alturas entre ambos puntos provocan una mayor oxigenación en el agua y la disipación de contaminantes.

CONCLUSIONES

1. Al utilizar los cinco parámetros necesarios para el cálculo del índice ISQA: temperatura, sólidos en suspensión totales, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno y conductividad eléctrica fue posible determinar la calidad del agua para cada muestreo realizado. De esta manera, los valores ISQA obtenidos para la parte alta y baja de la microcuenca registraron una regular calidad del agua; mientras que la parte media obtuvo una mala calidad del agua; estos resultados fueron obtenidos tanto para la época seca como para la época lluviosa.
2. Según los especímenes recolectados para las familias de macroinvertebrados presentes en los puntos de muestreo del río Canalitos se hizo posible determinar el punteo del índice biótico BMWP-CR. En general, la calidad del agua se mantuvo, en todos los puntos y en ambas épocas de muestreo como muy mala calidad del agua, es decir, aguas extremadamente contaminadas.
3. Se pudo determinar que el tipo de correlación existente entre ambos índices no fue lineal, sino que su correlación es de tipo polinómico de segundo grado.
4. En el caso del índice ISQA, se pudo observar una mejora en los resultados durante la época seca, sin embargo, la diferencia de resultados no es mucha por lo que se considera no significativa. En el caso del índice BMWP-CR, los resultados obtenidos fueron similares en ambas épocas.

5. En términos generales, se obtuvo una mejor calidad del agua en la parte alta de la microcuenca, mientras que los menores punteos fueron obtenidos en el punto medio de la microcuenca.

6. Fueron elaborados mapas de zonificación de la calidad del agua en la microcuenca, utilizando un código de colores internacionalmente aceptado para ambos índices, lo que permite la fácil visualización del estado de la calidad del agua según ambos índices y a través de las épocas muestreadas.

RECOMENDACIONES

1. De ser posible, debe considerarse un análisis de contaminación por materia orgánica y contaminación por mineralización, con el objeto de determinar qué tipo de contaminantes afectan en mayor medida el cuerpo de agua estudiado.
2. Durante el recorrido en el cauce se pudo observar la contaminación por aguas residuales crudas, de tipo doméstico en su mayoría, por lo que también debería considerarse un análisis de sustancias tensoactivas, así como aceites y grasas presentes.
3. Previo a realizar este tipo de estudios, es necesario tener claridad de las normas a utilizarse para llevar a cabo una investigación con los parámetros adecuados para obtener resultados reales y representativos.

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. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013. 113 p.
2. APARICIO MIJARES, Francisco. *Fundamento de hidrología de superficie*. México: Editorial Limusa, 1989. 19 p.
3. ATENAS, Mesenia; JOFRÉ, Juan C.; FIGUEROA, Alejandra. *Agua y medio ambiente*. Chile: Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, 2003. 12 p.
4. BATEMAN, Allen. *Hidrología básica y aplicada*. México: Grupo de Investigaciones en Transporte de Sedimentos, GITS, 2007. 70 p.
5. BEHAR, Roberto; ZÚÑIGA, María del Carmen y ROJAS, Olga. *Análisis y valoración del índice de calidad del agua (IQA) de la NSF: El caso de los ríos Cali y Meléndez*. Cali, Colombia: 1997. 11 p.
6. CARRERA REYES, Carlos; FIERRO PERALBO, Karol. *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Ecuador: EcoCiencia, 2001. 67 p.

7. Comisión Guatemalteca de Normas, Coguanor 8989-2. *Calidad del agua. Clasificación biológica de los ríos. Parte 2: Guía para la presentación de los datos relativos a la calidad biológica a partir de estudios de macroinvertebrados bénticos*. Guatemala: Coguanor, 2010. 13 p.
8. _____. NTG/ISO 8989-1. *Calidad del agua. Clasificación biológica de los ríos. Parte 1: guía para la interpretación de los datos relativos a la calidad biológica a partir de estudios de macroinvertebrados bénticos*. Guatemala: Coguanor, 2010. 12 p.
9. Gobierno de la República de Guatemala. *Estrategia para la gestión Integrada de los Recursos Hídricos de Guatemala* Guatemala: Secretaría de Planificación y Programación de la República, 2006.
10. _____. *Política Nacional del Agua de Guatemala y su Estrategia*. Guatemala: Presidencia de la República, 2011. 48 p.
11. _____. *Estrategia para la gestión integrada de los recursos hídricos de Guatemala*. Guatemala: Secretaría de Planificación y Programación de la República, 2006. 104 p.
12. GUTIERREZ FONSECA, Pablo. *Guía ilustrada para el estudio ecológico taxonómico de los insectos acuáticos del orden Coleoptera en El Salvador*. El Salvador: Editorial Universitaria (UES), 2010. 64 p.
13. MÁRQUEZ LUNA, Juan. *Técnicas de colecta y preservación de insectos*. México: Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2005. 388 p.

14. MÉNDEZ, Silvia. *Determinación de la Influencia de las Características Físicoquímicas Medidas a través del Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA), sobre la Biota Medida a través del Índice Biótico BMWP en la Microcuenca del Río Contreras del Municipio de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. 163 p.
15. MENJIVAR ROSA, Rafael. *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del Orden Diptera en El Salvador*. El Salvador: Editorial Universitaria (UES), 2010. 12 p.
16. Ministerio de Ambiente y Energía. *Reglamento No. 33903 MINAE-S, Diario Oficial La Gaceta No. 178*. [en línea]. <<https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Reglamento%20evaluaci%C3%B3n%20y%20clasificaci%C3%B3n%20de%20calidad%20de%20cuerpos%20de%20agua%20superficiales.pdf>>. [Consulta: 2 de junio de 2020].
17. PACHECO CHAVES, Bernald. *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Hemipteroa en El Salvador*. El Salvador: Editorial Universitaria (UES), 2010. 50 p.
18. ROLDAN PÉREZ, Gabriel. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Colombia: Universidad de Antioquia, 1988.

19. ROMERO ROJAS, Jairo A. *Potabilización del agua*. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999. 13 p.
20. ROS MORENO, Antonio. *Índice simplificado de Calidad del Agua (ISQA)*. [en línea]. <<http://www.mailxmail.com/curso-agua-calidad-contaminacion-2-2/indice-simplificado-calidad-aguas-isqa>>. [Consulta: 25 de mayo de 2020].
21. SERMEÑO CHICAS, José Miguel; SERRANO CERVANTES, Leopoldo; SPRINGER, Monika. *Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos; índices biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador*. El Salvador: Editorial Universitaria (UES), 2010. 44 p.
22. SIERRA, Carlos. *Calidad del Agua Evaluación y Diagnóstico*. Colombia: Ediciones de la U, 2011. 37 p.
23. SPRINGER, Monika. *Clave taxonómica para larvas de las familias del orden Trichoptera (Insecta) de Costa Rica*. Costa Rica: Museo de Zoología, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, 2006. 274 p.
24. SPRINGER, Monika. *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Trichoptera en El Salvador*. El Salvador: Editorial Universitaria (UES), 2010. 47 p.

25. Universidad Rafael Landívar. *Situación del recurso hídrico en Guatemala, documento técnico del perfil ambiental de Guatemala*. Guatemala: Instituto de Incidencia Ambiental, 2005. 32 p.
26. VILLÓN BEJAR, Máximo. *Hidrología*. Costa Rica: Taller de publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2002. 15 p.
27. WAYNE W, Daniel. *Bioestadística Base para el análisis de las ciencias de la salud*. México: Editorial Limusa, 2002. 228 p. ISBN 978-96818-61-64-3.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Red de muestreo de la microcuenca del río Canalitos.
Parte alta, zona 24, durante época seca**



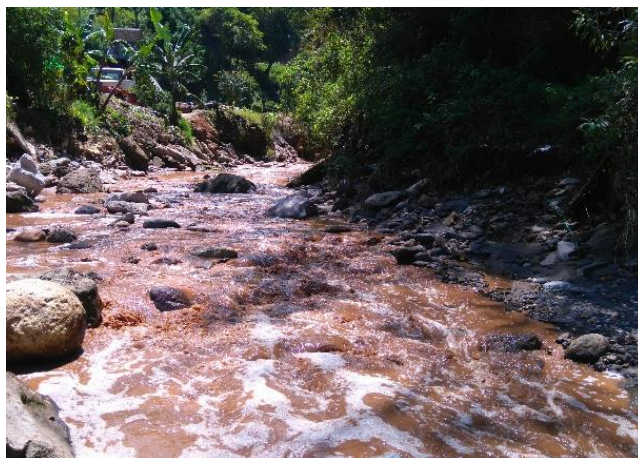
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Parte media, Aldea Canalitos, durante época seca**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Parte Baja, Lourdes, durante época seca**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Desfogue de aguas residuales, Parte Media**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Toma de muestra y muestreo con red tipo D durante época lluviosa**



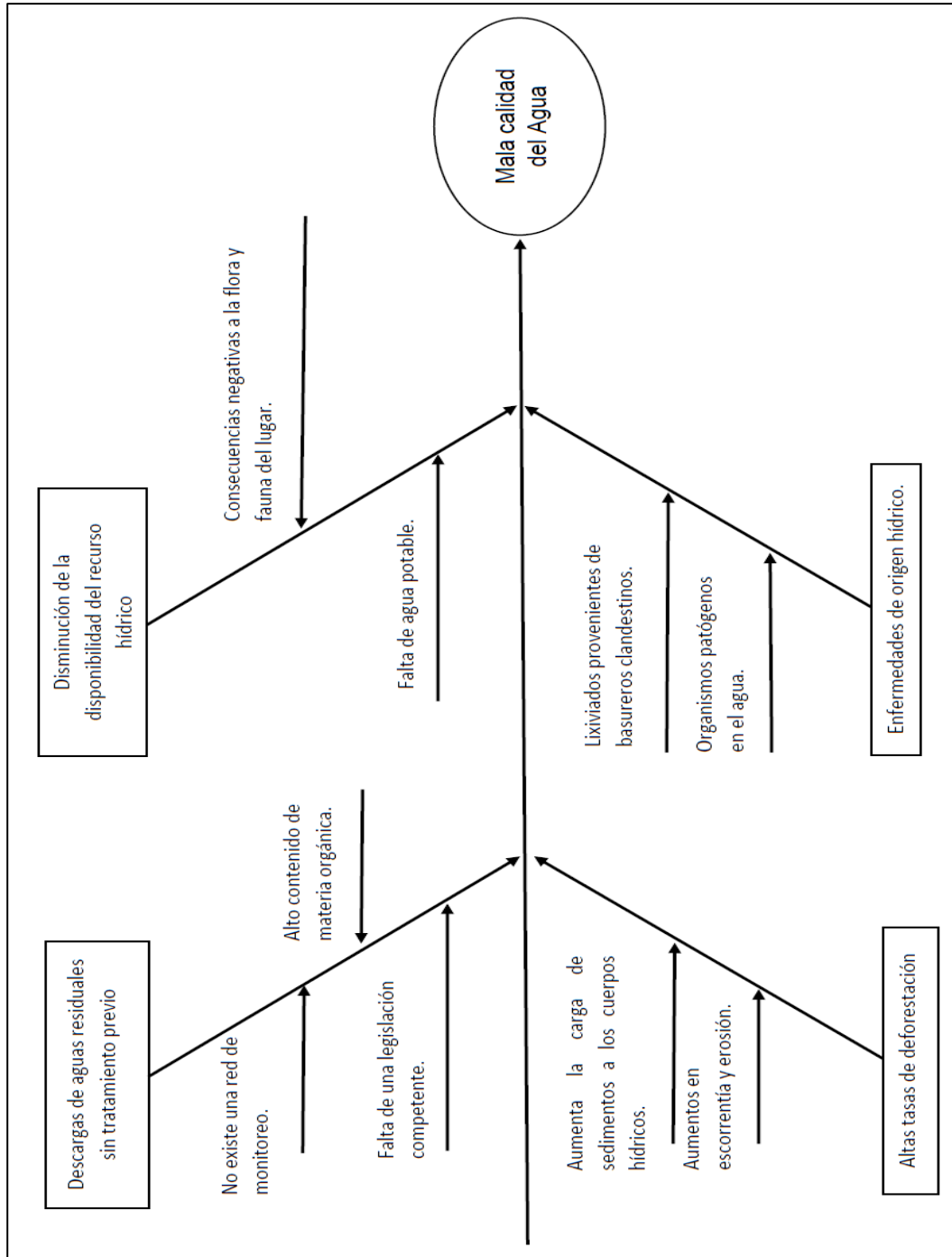
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Tabla de requisitos académicos**

Carrera	Área	Curso	Temática
Ingeniería Ambiental	Aguas	Hidrología	<ul style="list-style-type: none"> • Mapas de precipitación • Cuenca hidrográfica • Delimitación de una cuenca
		Manejo de Cuencas	<ul style="list-style-type: none"> • Aspectos sociales de una cuenca • Aspectos climáticos de una cuenca
	Dibujo y Topografía	Topografía	<ul style="list-style-type: none"> • Curvas de nivel • Cartografía • Sistemas de Coordenadas • Elaboración de mapas • Fotografía aérea y ortofotos
		Taller de Sistemas de Información Geográfica	<ul style="list-style-type: none"> • Digitalización de información • Construcción de mapas
	Química Industrial	Microbiología	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de equipo de laboratorio
		Calidad del Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas de muestreo de calidad del agua • Índices bióticos de calidad del agua • Índices fisicoquímicos de calidad del agua.
	Complementaria	Biología	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación taxonómica
		Climatología	<ul style="list-style-type: none"> • Comportamiento de fenómenos climáticos.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Apéndice 6. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

