



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

ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN EL COMPORTAMIENTO DEL INDICE DE DIVERSIDAD SHANNON WIENER Y EL INDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DEL AGUA (ISQA), COMO DESCRIPTORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA, PAMPUMAY, VILLA CANALES

Nancy Ivette Morales Ramírez
Asesorado por el Ing. Zenón Much Santos

Guatemala, noviembre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN EL COMPORTAMIENTO DEL INDICE DE DIVERSIDAD SHANNON WIENER Y EL INDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DEL AGUA (ISQA), COMO DESCRIPTORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA, PAMPUMAY, VILLA CANALES

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

NANCY IVETTE MORALES RAMÍREZ
ASESORADO POR EL ING. ZENÓN MUCH SANTOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Lorena Benítez Pacheco
EXAMINADOR	Ing. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	Ing. Sergio Alejandro Recinos
SECRETARÍO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN EL COMPORTAMIENTO DEL INDICE DE DIVERSIDAD SHANNON WIENER Y EL INDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DEL AGUA (ISQA), COMO DESCRIPTORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA, PAMPUMAY, VILLA CANALES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 24 de septiembre de 2019.

Nancy Ivette Morales Ramírez



Guatemala,
22 de abril de 2020

Ingeniero
Oscar Argueta Hernández
Director de la Unidad de Prácticas y EPS
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ing. Argueta.

Remito la presente para hacer de su conocimiento que he supervisado el proyecto de EPS de la Carrera de Ingeniería Ambiental titulado: **“ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN EL COMPORTAMIENTO DE ÍNDICE DIVERSIDAD SHANNON WIENER Y EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA), COMO DESCRIPTORES DE CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA, PAMPUMAY, VILLA CANALES”** desarrollado por la estudiante universitaria **Nancy Ivette Morales Ramírez**, quien contó con la asesoría del ingeniero químico Zenón Much Santos y la supervisión del suscrito.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente.

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Ambiental



Guatemala, 23 de julio del 2020.
Ref.EPS.D.13.07.2020

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Álvarez Mejía:

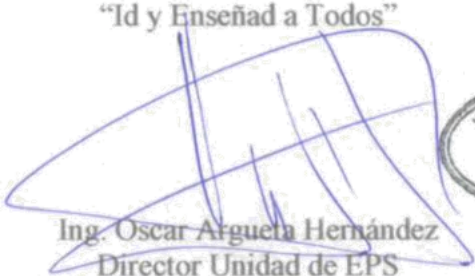
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **“ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN EL COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE DIVERSIDAD SHANNON WIENER Y EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DE AGUA (ISQA), COMO DESCRIPTORES DE CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUCENCA, PAMPUMAY, VILLA CANALES”**., que fue desarrollado por la estudiantes universitaria **Nancy Ivette Morales Ramírez, CUI 1928 78654 0101 y Registro Académico 201114514**, quien fue debidamente asesorado por el Ingeniero Químico Zenón Much Santos y supervisado por el Ingeniero Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación por parte del Asesor y del Supervisor, como director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.


Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



Universidad de San Carlos de Guatemala
DIRECCIÓN
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

Guatemala 28 de julio de 2020

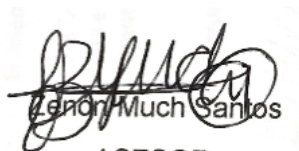
Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

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 Ejercicio Profesional Supervisado EPS (6 meses) del trabajo de graduación titulado: **“ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN EL COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE DIVERSIDAD SHANNON WIENER Y EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DEL AGUA (ISQA), COMO DESCRIPTORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA, PAMPUMAY, VILLA CANALES”** elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, Nancy Ivette Morales Ramírez, quien se identifica con el registro académico 2011-14514 y con el CUI 1928 78654 01 01.

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

Atentamente,



Zenon Much Santos
ASESOR

Ingeniero Químico
Colegiado activo no. 420

Zenon Much Santos
Ing. Químico Col. No. 420
MSc. en Ingeniería Sanitaria



Guatemala, 22 de septiembre de 2020.
Ref. EIQ.TG-IF.034.2020.

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **046-2019**, 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: **Nancy Ivette Morales Ramírez**.
Identificado con número de carné: **1928786540101**.
Identificado con registro académico: **201114514**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Ambiental**.
En la modalidad: **Informe Final EPS (6 meses), 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:

ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN EL COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON WIENER Y EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DEL AGUA (ISQA), COMO DESCRIPTORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA, PAMPUMAY, VILLA CANALES

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Zenón Much Santos, 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”

Ingrid Lorena Benítez Pacheco
profesional de la Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

Licda. Ingrid Lorena Benítez P.
Química
Maestría Ciencia y Tecnología
del Medio Ambiente
Colegiado No. 1974

C.c.: archivo



Guatemala, 19 de noviembre de 2020.

Ref. EIQ.320.2020

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 (EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO), DENOMINADO ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN EL COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE DIVERSIDAD SHANNON WIENER Y EL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DEL AGUA (ISQA), COMO DESCRIPTORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA, PAMPUMAY, VILLA CANALES del(la) estudiante Nancy Ivette Morales Ramírez, 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. Alvaréz Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Cc. Archivo
WGAM/impea



Asociación de Facultades de Ingeniería de Guatemala



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



**NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA**

DTG. 415.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL EN EL COMPORTAMIENTO DEL INDICE DE DIVERSIDAD SHANNON WIENER Y EL INDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DEL AGUA (ISQA), COMO DESCRIPTORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA, PAMPUMAY, VILLA CANALES**, presentado por la estudiante universitaria: **Nancy Ivette Morales Ramírez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, noviembre de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Arquitecto y dador de vida, fuente de conocimiento y sabiduría quien me permitió esta bendición.
- Mis padres** Oscar Remberto Morales Monteros y Teresa del Carmen Ramírez Juárez por su amor, apoyo incondicional y el esfuerzo que realizaron, permitiéndome alcanzar mis metas. Este triunfo es para ustedes.
- Mi novio** David Duran. Porque en la inmensidad de su amor y la ternura de su corazón, no solo he descubierto lo especial que soy, si no que encontré verdadera felicidad. Gracias por hacerme creer en mí y darme motivos a mi corazón para que pueda volver a sonreír gentilmente.
- Mis hermanas** Andrea Ivonne y Jackelyn Pahola Morales, por ser la motivación y quienes fueron fuente de inspiración para alcanzar este logro. Las amo.
- Mi sobrino** Remberth Alejandro. Por sus travesuras llenaron de felicidad mi vida.

Mis abuelas

Josefina Monteros Valdez y Felicita Ramírez quienes cuidaron de mí y me guiaron por el buen camino.

Mi abuelo

Oscar Fidel Morales Orellana. Por ser una importante influencia en mi carrera.

Mis tíos

A los que estuvieron en todos los momentos y cuidaron, en especial Aura de Trabanino y Hugo Trabanino quienes han sido como mis padres.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios y el lugar en donde se forman los mejores ingenieros.

Facultad de Ingeniería

A mi Escuela de Ingeniería Química por darme herramientas para seguir luchando con los obstáculos que me pusieron.

**Mis amigos de la
Faculta de Ingeniería**

Por su apoyo desde el primer día en la universidad, por compartir y estar pendientes en cada logro y fracaso conmigo.

**Ing. Jorge Mario
Estrada Asturias**

Por compartir su conocimiento para la elaboración del mismo.

Ing. Zenon Much Santos

Por ser mi asesor de investigación y no dudar de mí.

**Ing. Carlos Salvador
Wong Davi**

Por compartir su conocimientos y anécdotas.

**Autoridad para el Manejo
Sustentable de la cuenca
y Lago de Amatitlán**

Por brindarme apoyo en la realización de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS	XVII
HIPÓTESIS	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Delimitación.....	2
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. El agua	5
2.2. Cuenca.....	6
2.2.1. Partes de una cuenca hidrográfica	6
2.2.1.1. Subcuenca.....	7
2.2.1.2. Microcuenca	7
2.3. Contaminación	7
2.3.1. Contaminación hídrica	8
2.3.1.1. Principales problemas en la contaminación hídrica.....	9
2.4. Conceptos de bioindicación y biomonitoreo.....	9
2.4.1. Bioindicadores	9
2.4.1.1. Tipos de bioindicadores.....	10

2.4.2.	Biomonitoreo	12
2.5.	Macroinvertebrados acuáticos	12
2.5.1.	Tipos de macroinvertebrados acuáticos	13
2.6.	Índices de diversidad utilizados en la calidad del agua	13
2.6.1.	Índices de Shannon-Wiener (H').....	14
2.6.2.	Índice de Simpson-Gini (Y).....	14
2.6.3.	Índice de Berger-Parker (B).....	15
2.6.4.	Índice de diversidad de Macintosh.....	15
2.7.	Índice de calidad del agua	15
2.7.1.	Índices fisicoquímicos de calidad del agua.....	16
2.7.1.1.	Índice de calidad general (ICG).....	17
2.7.1.2.	Índice simplificado de calidad de agua (ISQA).....	18
2.7.1.2.1.	Deducción del Índice simplificado de calidad de agua (ISQA)	19
2.7.1.3.	Índice automático de calidad de agua (IAQA).....	19
2.8.	Índices de contaminación ICO	20
2.9.	Caracterización de la microcuenca del río Pampumay	20
2.9.1.	Aspectos socioeconómicos.....	21
2.9.1.1.	Demografía	21
2.9.1.2.	Educación	22
2.9.1.3.	Infraestructura y vivienda.....	23
2.9.1.4.	Red vial.....	24
2.9.1.5.	Salud.....	25
2.9.2.	Aspectos morfológicos.....	25
2.9.2.1.	Serie de suelos	25

	2.9.2.2.	Zonas de vida	26
	2.9.2.3.	Geología	27
3.	METODOLOGÍA.....		29
3.1.	Variables		29
3.1.1.	Variables independientes.....		30
3.1.2.	Variables dependientes		31
3.2.	Delimitación de campos de estudio		32
3.2.1.	Área de investigación.....		32
3.2.2.	Campo de investigación.....		32
3.2.3.	Línea de investigación		32
3.3.	Recursos humanos disponibles		33
3.4.	Recursos materiales disponibles		33
3.4.1.	Equipo y herramienta a utilizar		33
3.4.2.	Información y herramienta SIG		37
3.5.	Técnica cualitativa y cuantitativa.....		37
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información		37
3.6.1.	Metodología a utilizar para el muestreo de macroinvertebrados bénticos lénticos.....		38
3.6.2.	Planificación.....		38
3.6.3.	Preparación de materiales y equipo necesario para la recolección de muestras		39
3.6.3.1.	Muestreo con red tipo D		40
3.6.3.2.	Descripción de la red tipo D.....		40
3.6.4.	Procedimiento de muestreo		41
3.6.5.	Procedimiento para sólidos suspendidos totales.....		42
3.6.6.	Procedimiento para la demanda química orgánica (DQO), mediante el método de colorimetría		43

3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento	43
3.7.1.	Procesamiento de la información para el cálculo del índice de diversidad de Shannon Wiener	45
3.7.1.1.	Ecuación del Índice de diversidad de Shannon Wiener	45
3.7.1.2.	Ecuación del Índice simplificado de la calidad del agua (ISQA).....	45
3.8.	Análisis estadístico.....	47
4.	RESULTADOS	49
4.1.	Muestra de cálculo para la determinación del índice de diversidad de Shannon Wiener	49
4.2.	Muestra de cálculo para la determinación del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)	51
4.2.1.	Cálculo del valor del parámetro E de temperatura en la ecuación del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA).....	51
4.2.2.	Cálculo del valor del parámetro A de la demanda química orgánica (DQO) en la ecuación del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)....	52
4.2.3.	Cálculo del valor del parámetro B de sólidos en suspensión totales (SST) en la ecuación del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)....	53
4.2.4.	Cálculo del valor del parámetro C de oxígeno disuelto (OD) en la ecuación del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)	54
4.2.5.	Cálculo valor del parámetro D de conductividad en la ecuación del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA).....	55

4.2.6.	Cálculo del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA).....	56
4.3.	Análisis estadístico de los datos	57
4.4.	Tablas resultados de datos calculados	58
4.4.1.	Tablas resumen para índice de Shannon Wiener....	58
4.5.	Distribución de los ensambles de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca Pampumay	59
5.	INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	71
6.	LOGROS OBTENIDOS	81
	CONCLUSIONES.....	83
	RECOMENDACIONES	85
	BIBLIOGRAFÍA	87
	APÉNDICES.....	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de sectorización de la microcuenca.....	3
2.	Mapa de monitoreo.....	4
3.	Mapa de poblados	22
4.	Tipo de vivienda dentro de la microcuenca	23
5.	Red vial de la microcuenca río Pampumay	24
6.	Mapa de series de suelos.....	26
7.	Mapa de zonas de vida.....	27
8.	Mapa de geología.....	28
9.	Red tipo D.....	40
10.	Riqueza y abundancia de las familias encontradas en la microcuenca alta del río Pampumay	60
11.	Riqueza y abundancia de las familias encontradas en la cuenca baja del río Pampumay.....	60
12.	Número de familias y % de macroinvertebrados recolectados de la microcuenca del río Pampumay	61
13.	Correlación de los índices de diversidad de Shannon Wiener contra índice simplificado de la calidad del agua ISQA en época seca en la cuenca alta	62
14.	Correlación de los índices de diversidad de Shannon Wiener contra índice simplificado de la calidad del agua ISQA en época seca en la cuenca baja	63

15.	Correlación de los índices de diversidad de Shannon Wiener contra índice simplificado de la calidad del agua ISQA en época lluviosa en la cuenca alta.....	64
16.	Correlación de los índices de diversidad de Shannon Wiener contra índice simplificado de la calidad del agua ISQA en época lluviosa en la cuenca baja.....	65
17.	Calidad del agua del índice de diversidad de Shannon Wiener en época seca	66
18.	Calidad del agua del índice de diversidad de Shannon Wiener en época lluviosa	67
19.	Calidad del agua del índice de simplificado de la calidad del agua en época seca	68
20.	Calidad del agua del índice de simplificado de la calidad del agua en época lluviosa	69
21.	Explotación del recurso hídrico en la parte baja de la microcuenca	73
22.	Trabajos de arreglo de carretera en la parte alta de la microcuenca	75
23.	Parte alta de la microcuenca río Pampumay.....	75
24.	Parte baja de la microcuenca	76

TABLAS

I.	Escala de la calidad del agua propuesta para el índice Shannon Wiener	14
II.	Significado de los valores del ISQA.....	18
III.	Nivel de escolaridad de población mayor de 7 años de edad	23
IV.	Variables.....	29
V.	Plan de trabajo.....	39
VI.	Parámetros fisicoquímicos.....	44
VII.	Parámetros bióticos	44

VIII.	Macroinvertebrados encontrados en el primer monitoreo en la parte alta de la microcuenca del río Pampumay en época seca	49
IX.	Cálculo del índice de Shannon Wiener para la parte alta de la microcuenca del río Pampumay	50
X.	Datos originales de temperatura en la muestra de la cuenca alta del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay	51
XI.	Datos originales DQO en la muestra de la cuenca alta del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay	52
XII.	Datos originales SST en la muestra de la cuenca alta del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay	53
XIII.	Datos originales de oxígeno disuelto en la muestra de la cuenca alta del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay.....	54
XIV.	Datos originales de conductividad en la muestra de la cuenca baja del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay	55
XV.	Datos calculados de los parámetros a utilizar en la muestra de la cuenca alta del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay.....	56
XVI.	Resultados del índice de diversidad Shannon Wiener para la microcuenca en época seca	57
XVII.	Resultados para el Índice de diversidad de Shannon Wiener para la microcuenca baja en época lluviosa	58
XVIII.	Resultado para el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) en época seca	59
XIX.	Resultado para el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) en época lluviosa	59
XX.	Influencia estacional sobre la calidad del agua sobre índice de diversidad de Shannon Wiener.....	61
XXI.	Influencia estacional sobre la calidad del agua sobre índice simplificado de la calidad del agua ISQA	62

XXII.	Ecuación y coeficiente de correlación de la figura 1.....	63
XXIII.	Ecuación y coeficiente de correlación de la figura 2.....	64
XXIV.	Ecuación y coeficiente de correlación de la figura 3.....	65
XXV.	Ecuación y coeficiente de correlación de la figura 4.....	66

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
R	Coeficiente de correlación
CE	Conductividad eléctrica
°C	Grado centígrado
H'	Índice de diversidad de Shannon Wiener
ISQA	Índice simplificado de la calidad del agua
u_s/cm	Microsiemens sobre centímetro
Mg/l	Milígramo por litro
OD	Oxígeno disuelto
SST	Sólidos suspendidos totales
T	Temperatura

GLOSARIO

Antropogénica	Efectos derivados de la actividad de ser humano.
Biodiversidad	Es la cantidad, variedad taxonómica y variabilidad de los organismos vivos.
Bioindicador	Es un indicador biológico que son aquellos organismos que ayudan a diagnosticar fenómenos o sucesos en presente o pasado relacionado con el estudio de un ambiente.
Biota	Conjunto de especies de animales, plantas y otros organismos que ocupan un área específica.
BMWP	Biological monitoring working party. Índice biológico que da puntuación a familias de macroinvertebrados que son utilizadas como indicadores.
Cuenca hidrográfica	Es una superficie geográficamente delimitada por las partes altas denominadas parteaguas, donde toda gota de agua que cae dentro de estos límites drena hacia un mismo cauce principal.
Ecosistema	Es un grupo de seres vivos en que viven en un sistema complejo de comunidades.

Eutrofización	Incremento de nutrientes en los cuerpos de agua, caracterizado por el aumento de nitratos y fosfatos.
Geoposicionamiento	Localizar un objeto espacial en un sistema de coordenadas datum en una zona determinada en el globo terráqueo.
GPS	Sistema de posicionamiento global. Es un sistema global de navegación por medio de satélites.
Impacto ambiental	Efecto generado por actividades humanas en el ambiente sobre el ambiente que lo rodea.
Índice biótico	Es una puntuación para la clasificación, según el tipo de especies de macroinvertebrados.
Macroinvertebrado	Son especies que se pueden ver a simple vista por lo general pueden medir entre 2 mm y 30 cm.
Monitoreo	Es observar del curso de uno o más parámetros para detectar anomalías o cambios en el entorno.
Muestra	Se toma en un sitio determinado y una sola vez, se utiliza para determinar parámetros de calidad del agua.

RESUMEN

Este estudio se llevó a cabo en la microcuenca del río Pampumay, afluente del Lago de Amatitlán, en el municipio de Villa Canales. Con el objetivo de estimar si el índice de diversidad de Shannon Wiener tiene una diferencia estacional significativa así mismo con el índice simplificado con la calidad del agua (ISQA), se realizó un análisis estadístico mediante datos pareados de muestras tomadas en dos épocas distintas: época seca y época lluviosa.

Se seleccionaron dos puntos de monitoreo representativos de la parte alta y baja de microcuenca, se tomaron diez muestras, cinco de ellas en época lluviosa y las otras cinco en época seca; esto con el fin de abarcar dos períodos prevalecientes durante todo el año y obtener un comportamiento general.

Al obtener las puntuaciones de cada índice mencionado, se procedió a establecer las causas de variabilidad de la información obtenida.

La calidad del agua obtenida mediante el índice de diversidad de Shannon Wiener tanto en época lluviosa y seca se mantuvo en una puntuación de aguas medianamente contaminadas en la parte alta de la microcuenca; en la parte baja se mantiene en puntaje fuertemente contaminadas tanto en época lluviosa y en época seca. La calidad obtenida mediante el índice simplificado de la calidad del Agua (ISQA) en la parte alta de la microcuenca se mantiene en una calidad Intermedia tanto en época lluviosa y en época seca. Se observó una disminución de la calidad del agua durante la época lluviosa en la parte baja de la microcuenca y en la parte de alta de microcuenca se mantiene en un puntaje “Intermedia”.

Al obtener las puntuaciones de cada índice, se prosiguió a utilizar herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica), para la elaboración de mapas, que sirvieron como representación gráfica de la calidad del agua de cada zona de la microcuenca.

En general, la calidad del río fue de una buena calidad de forma permanente durante todo el año, lo que involucra la explotación del mismo.

El análisis de los puntajes dados por los índices propuestos fue que hay influencia estacional en el comportamiento tanto en época lluviosa y época seca.

OBJETIVOS

General

Estimar la influencia estacional en el comportamiento del índice diversidad Shannon-Wiener y el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) como descriptores de calidad del agua de la microcuenca del río Pampumay.

Específicos

- 1 Determinar cualitativa y cuantitativamente la variedad taxonómica de macroinvertebrados existentes en los puntos de monitoreo.
- 2 Estimar el índice de Shannon-Wiener.
- 3 Estimar el índice simplificado de calidad del agua (ISQA).
- 4 Establecer las causas de las variaciones estacionales del índice de diversidad de Shannon-Wiener y el índice simplificado de calidad de agua (ISQA) en época seca y en época lluviosa.
- 5 Elaborar mapas de sectorización de la calidad del agua de la microcuenca del río Pampumay mediante un código de colores aceptado para ambos índices.

Hipótesis

Existe influencia estacional de la biodiversidad de macroinvertebrados en la población y las características fisicoquímicas en la microcuenca del río Pampumay.

Hipótesis nula

No existe una relación directamente proporcional entre el índice de Shannon-Wiener entre el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA).

Hipótesis alternativa

Existe una relación directamente proporcional entre el índice de Shannon-Wiener entre el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA).

INTRODUCCIÓN

La calidad de un río refleja varias influencias importantes, como aportes atmosféricos, condiciones climáticas y contaminación antropogénica. La contaminación antropogénica es uno de los problemas más frecuentes causados por los basureros ilegales, descargas desmesuradas ocasionando la aceleración de las concentraciones de nutrientes y la disminución de las poblaciones de los organismos acuáticos y como consecuencia se reduce la calidad del agua.

La persistencia de los contaminantes en cualquier ecosistema.

Se tiene en cuenta que concurrencia de los contaminantes en cualquier ecosistema presente, es responsable de alteraciones en él, que se observan en el comportamiento y las poblaciones de los organismos acuáticos. Con esta forma es posible localizar mediante la carencia o desmesurada presencia de cierto grupo de organismos vivos la presencia de la contaminación, dado que cada organismo se comporta de manera distinta a los cambios, según su tolerabilidad o sensibilidad. Aplicado a los cuerpos de agua, y mediante el control de estos organismos sensibles, pueden determinar la calidad del agua de un lugar específico.

La carencia en el manejo de cuencas produce deficiencias en la gestión de la calidad del agua que afecta así, la calidad de vida humana ya que la contaminación del agua genera enfermedades de tipo hídrico.

La utilización del biomonitoreo es una herramienta destacada para definir los niveles de contaminación, dado que es una vía rápida, económica y práctica de aplicación y que puede ser utilizada en cualquier cuerpo de agua en el país, y que puede ejercer como una herramienta beneficiosa de ayuda para la ingeniería ambiental.

Para lograr que la gestión del agua en Guatemala sea adecuada es necesaria realizar estudios de calidad del agua, basados en indicadores fisicoquímicos y bioindicadores para crear un panorama en la formulación de planes para el manejo adecuado de cuencas. Partiendo del análisis de la calidad del agua se toma como base la microcuenca que forma el río Pampumay dado que es un afluente del Lago de Amatitlán, ubicada en el caserío Pampumay municipio de Villa Canales.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

En algún ecosistema existente, la concurrencia de un individuo o sustancia atípica altera de varias formas el comportamiento y la cantidad de los organismos que la habitan. Es decir, que los bioindicadores son aquellas comunidades en los que su existencia, sus características estructurales, su funcionamiento y sus reacciones dependen del medio en que se desarrollan y cambian al modificarse las condiciones ambientales.

A partir en los años 50 y 60, comenzó el debate sobre los conceptos relacionados con la biodiversidad, los cuales fueron aplicados para procesar índices del monitoreo, de acuerdo a índices matemáticos de los cuales se produjo una gran diversidad de información debido al trabajo de muchos autores que han hecho sus mejores esfuerzos de interpretación de la magnitud del tema, como Shannon-Wiener, Simpon, Brillouin, Margaleff y Roldan-Pérez.

En Guatemala, estos estudios son bastantes recientes y no existe aún una metodología especializada para el país, ni claves taxonómicas específicas de las regiones y hábitats de Guatemala.

En el año 2013, la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), publicó la norma técnica guatemalteca NTG/8689-1 y NTG/ISO 8689-2, *Calidad del agua. Clasificación biológica de los ríos*, donde especifica una metodología y presentación de resultados para el muestreo y análisis de calidad del agua mediante índices bióticos.

Acuña, E. En 2013 elaboro el estudio titulado Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos. Este informe, al igual que el de Sermeño Chicas utiliza la metodología de la red tipo D, y se basa en las claves y ordenes taxonómicos encontrados en las cuencas de El Salvador.

Sin embargo, según el Ministerio de Recursos Naturales, MARN en el Manual de Indicadores de Ambientes y Recursos naturales, no existen estudios completos sobre Macroinvertebrados acuáticos, aunque si se han realizado ciertos estudios en cuencas específicas en los departamentos de Ciencias Biológicas de la USAC y la UVG.

1.2. Delimitación

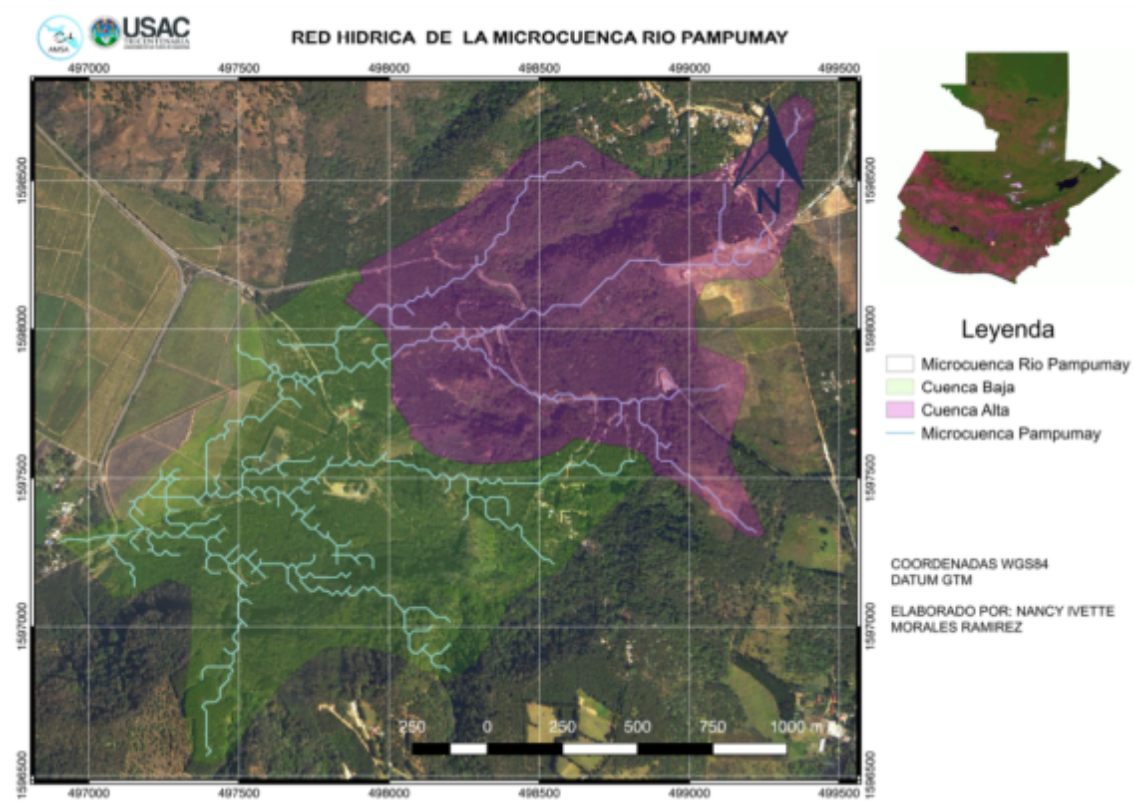
Este estudio abarca el monitoreo y análisis de la calidad del agua mediante el índice de diversidad de Shannon-Weiner y el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) de la microcuenca del río Pampumay, ubicada dentro de la cuenca y Lago de Amatitlán, en el municipio de Villa Canales, abarcando un área de 1516,79 Km².

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

- Parte alta: (coordenadas: 90° 31' 37,50" E y 14° 26'43,50" N)
- Parte baja: (coordenadas: 90° 30' 51,60" E y 14° 27' 8,50" N)

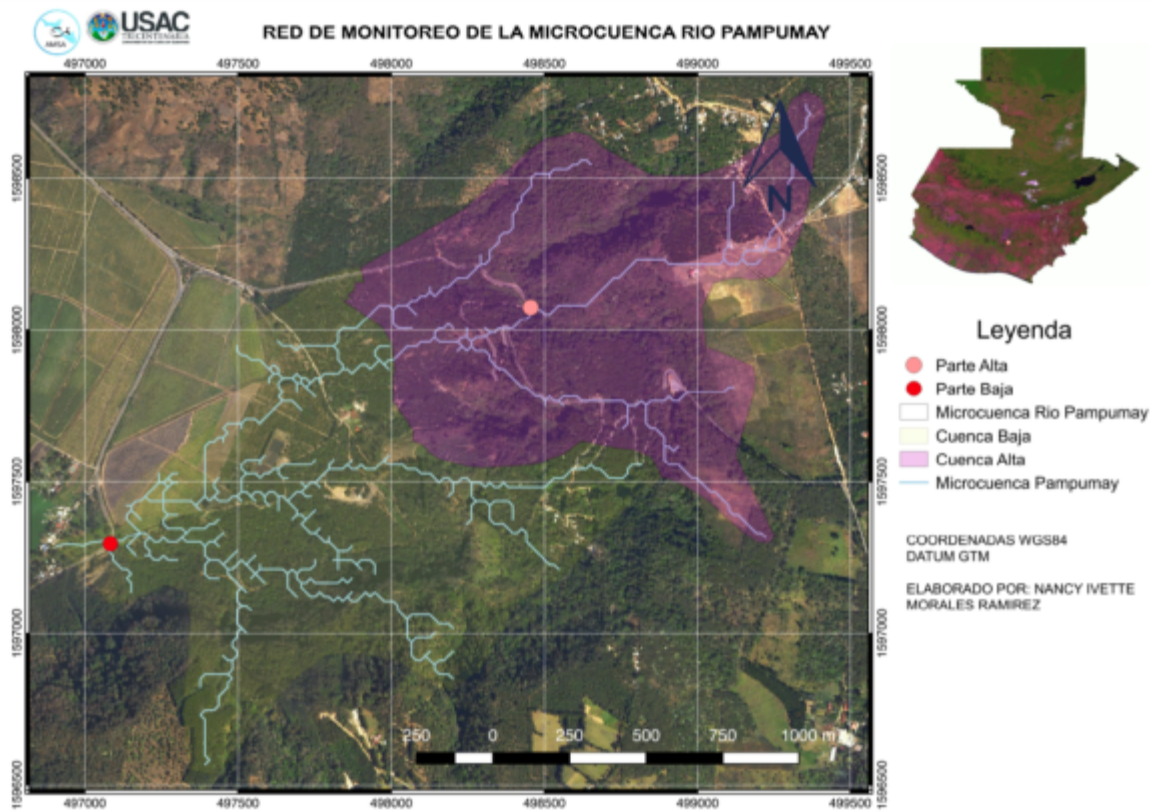
Se realizarán muestreos tanto en la época seca como la época lluviosa del 2019, para la obtención de mejores resultados y análisis de los efectos de las condiciones climáticas de ambas épocas.

Figura 1. Mapa de sectorización de la microcuenca



Fuente: elaboración propia, empleando Qgis 2.18.

Figura 2. Mapa de monitoreo



Fuente: elaboración propia, Qgis 2.18.

2. MARCO TEÓRICO

La calidad del agua es afectada por diversos factores externos que hacen que esta sea o no apta para el desarrollo de la vida acuática. Para entender de los índices de diversidad aplicados a la calidad del agua, es necesario conocer conceptos básicos de contaminación.

2.1. El agua

El agua es uno de los elementos vitales para cualquier forma de vida en el planeta. Los estudios acerca del agua han revelado que el 97 % pertenece al mar y es salada, el 2 % se encuentra en los polos, en forma de hielo, y solamente el 1 % se considera agua aprovechable o agua dulce, presente en los ríos, lagos y corrientes acuáticas.

El agua puede ser considerada como un recurso renovable, cuando se controla cuidadosamente su uso. De lo contrario es un recurso no renovable, limitado por las cantidades que se mueven en el sistema natural; sin embargo, se ha considerado como inagotable, por lo que su uso ha generado acciones irresponsables. Es importante considerar que el agua es un recurso finito y no siempre se dispondrá de ella.

Aunque el agua está en movimiento constante, se almacena temporalmente en los lagos, ríos y rocos que son fuente superficial y en el subsuelo.

2.2. Cuenca

Cuenca es una unidad territorial en la cual el agua, que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto en común o fluye toda al mismo río, lago o mar. En esta área viven seres humanos, animales y plantas, todos ellos interrelacionados. A los límites de la cuenca se le conoce como “parteaguas”, el cual consiste en una línea imaginaria que une los puntos de mayor altura en el área delimitada entre dos laderas.

2.2.1. Partes de una cuenca hidrográfica

Todas las cuencas hidrológicas tienen tres zonas donde el impacto del agua es distinto; la parte alta, la parte media y la parte baja; estas mantienen una estrecha dimensión.

La parte alta capta el agua de lluvia, la regula y suministra a otras partes de la cuenca. Todas las acciones que se realicen en esta parte tendrán repercusiones sobre el resto de la cuenca.

La parte media es donde se realizan las diversas actividades productivas, es la región donde se ejerce mayor presión hacia la parte alta de la cuenca; esta es una zona de transición o de amortiguamiento entre las acciones de la parte alta y los efectos que se evidencien en la parte baja de la cuenca.

La parte baja está generalmente cercana a las costas y en esta zona se ponen de manifiesto los impactos positivos o negativos de las acciones que se hacen en la parte alta y media de la cuenca.

2.2.1.1. Subcuenca

Se refiere a los territorios que drenan por cursos de agua que desembocan en el curso se subdivide en subcuenca que corresponden a los cursos de agua que terminan en el curso principal.

2.2.1.2. Microcuenca

Se refiere a unidades pequeñas y a su vez son áreas donde se originan quebradas y riachuelos que drenan de las laderas y pendientes altas.

2.3. Contaminación

La contaminación significa todo cambio indeseable en algunas características del ambiente que afecta negativamente a todos los seres vivos. Estos cambios se generan en forma natural o por acción del ser humano. Debido a la gran cantidad de contaminantes existentes, la contaminación se ha clasificado en la fuente de contaminación, el medio receptor o el impacto que ocasiona en el ambiente.

La clasificación se presente a continuación:

- Contaminantes según su fuente de procedencia
 - Agricultura y ganadería
 - Generadoras de electricidad
 - Transporte
 - Minería
 - Metalurgia
 - Industria química y electrónica

- Tratamiento de residuos
- Contaminantes según el medio receptor
 - Contaminantes atmosféricos
 - Contaminantes urbanos
 - Contaminantes del agua
 - Contaminantes marinos
 - Contaminantes del suelo
- Contaminantes según los impactos ambientales
 - Efecto invernadero
 - Acidificación
 - Destrucción del ozono estratosférico
 - Formación del smog
 - Eutrofización
 - Toxicidad humana
 - Ecotoxicidad

2.3.1. Contaminación hídrica

La contaminación hídrica o contaminación del agua es la alteración de las propiedades físicas y químicas del agua ya sea por la introducción de materiales o sustancias, o por el cambio de las condiciones del agua, de tal modo que ésta pierda sus características originales e impedirán sus usos posteriores o sus servicios ambientales.

Para efectos de las corrientes de agua superficiales, los contaminantes presentes son degradados por efectos de microorganismos y por efectos físico-hidráulicos, proceso que se conoce como “autodepuración del agua”. Sin

embargo, este proceso se impide cuando el contaminante se presenta en cantidades excesivas.

2.3.1.1. Principales problemas en la contaminación hídrica

La presencia de los contaminantes hídricos da como resultados diversos problemas en los cuerpos de agua, sobre todo por la acumulación de los contaminantes sin que se puede llevar el proceso de autodepuración, lo que se conoce como bioacumulación.

Los principales bioacumulación son los siguientes:

- Bioacumulación
- Eutrofización
- Salinización
- Azolvamiento
- Lixiviación

2.4. Conceptos de bioindicación y biomonitoreo

A continuación, se presentan los conceptos de bioindicación y biomonitoreo.

2.4.1. Bioindicadores

Los bioindicadores son aquellos organismos o comunidades en los que su existencia, sus características estructurales, su funcionamiento y sus reacciones dependen del medio en que se desarrollan y cambian al modificarse

las condiciones ambientales. En si son sensibles a los cambios ambientales y reaccionan ante ellos como si fueran estímulos específicos. Los estímulos absorbidos provocan respuestas en los bioindicadores que dan información tanto acerca de los cambios ocurridos como, en ocasiones, del nivel de intensidad del cambio ambiental.

2.4.1.1. Tipos de bioindicadores

Los bioindicadores pueden clasificarse atendiendo a diferentes criterios.

- El más sencillo consiste en atender al grado de sensibilizar que muestran frente a los estímulos ambientales; así, se puede diferenciar especies muy sensibles, sensibles, poco sensibles y resistentes.
- Otro criterio que pueden utilizarse es la forma de respuesta a los estímulos según este criterio se puede hablar de:
 - Detectores: bioindicadores que viven naturalmente en un área y que, simplemente, muestran respuestas tales como cambios de vitalidad, mortalidad, capacidad reproductora, abundancia, entre otros, ante los cambios ambientales que se produzcan en su entorno.
 - Explotadores: bioindicadores cuya presencia indica la probabilidad elevada de que exista una perturbación. Con frecuencia son organismos que, de forma más o menos repentina, se hacen muy abundantes en un lugar, casi siempre debido a la falta de competidores, que han sido previamente eliminados por la perturbación.

- Centinelas: bioindicadores sensibles o muy sensibles, que se introducen artificialmente en un medio y funcionan como alarmas, porque detectan rápidamente los cambios. Se utilizan fundamentalmente para detectar contaminantes.
- Acumuladores: bioindicadores que por lo general son resistentes a ciertos compuestos al ser capaces de absorberlos y acumularlos en cantidades medibles.
- Organismos test o bioensayo: bioindicadores que se utilizan en el laboratorio a modo de reactivos para detectar la presencia y/o la concentración de contaminantes. Son siempre bioindicadores sensibles tanto plantas como bacterias y, en algunos casos, ratas y ratones. Además de ser usados para detectar contaminantes y su concentración también suelen utilizarse para establecer listas de contaminantes según su toxicidad.
- Por otra parte, atendiendo al criterio de poder cuantificar las respuestas, los bioindicadores pueden ser:
 - Bioindicadores en sentido estricto: son aquellos con su presencia o ausencia y abundancia, indican los efectos de un factor ambiental de forma cualitativa; pueden ser tanto positivos, por su presencia o abundancia, como negativos, por su ausencia.
 - Biomonitoreo: son especies que indican la presencia de contaminaciones o perturbaciones no sólo de forma cualitativa, sino también de forma cuantitativa, porque sus reacciones son de alguna manera proporcionales al grado de contaminación o perturbación.

2.4.2. Biomonitorio

Monitorizar es, según Speliegerg, realizar observaciones sistemáticas de parámetros relacionados con un problema específico, diseñadas para dar información sobre las características del problema y sus cambios con el tiempo.

La monitorización puede ser:

- Físicoquímica, que consiste simplemente en medir concentraciones de contaminantes en el medio.
- Biológica o biomonitorización, que consiste en el uso regular y sistemático de organismos vivos para monitorizar o determinar la calidad ambiental.

2.5. Macroinvertebrados acuáticos

Se denominan macroinvertebrados acuáticos aquellos invertebrados con un tamaño acuático a 500 μm , entre los que incluyen animales como esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos, entre los que se encuentran los cangrejos.

Sin embargo, el grupo de invertebrados acuáticos más ampliamente distribuido en las aguas dulces es el de los insectos. En la mayoría de éstos, los estados inmaduros (huevos y larvas), son acuáticos mientras que los adultos suelen ser terrestres. Entre los insectos con alguna fase de su vida acuática destacan, por su abundancia y distribución, los siguientes órdenes: efemerópteros, plecópteros, odonatos, hemípteros, coleópteros, tricópteros y dípteros.

2.5.1. Tipos de macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos un nombre distinto según el tipo de adaptación que presenten:

- Neuston: se refiere a los organismos que viven sobre la superficie del agua caminando, patinando o brincando. Sus uñas, sus patas y su exoesqueleto están recubiertos por una especie de cera que los hace impermeables, así que, en vez de hundirse, doblan la superficie del agua venciendo la tensión superficial. Entre los representantes están las familias *Gerridae* y *Mesoveliidae*.
- Necton: se refiere a los organismos que nadan libremente en el agua. Entre ellos se encuentran: *Corixidae* y *Notonectidae* del orden *Hemiptera*; *Dystiscidae*, *Gyrinidae* e *Hydrophilidae* del orden *Coleoptera* y *Batidae* del orden *Ephemeroptera*.
- Bentos: se refiere a todos aquellos organismos que viven en el fondo de ríos y lagos, adheridos a piedras, rocas, troncos, restos de vegetación y sustratos similares. Los principales órdenes representantes son: *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Tricoptera*, *Megaloptera* y *Diptera*. También pueden encontrarse algunos enterrados en el fondo a varios centímetros de profundidad, como la familia *Euthyplociidae*.

2.6. Índices de diversidad utilizados en la calidad del agua

Estos miden la abundancia y biodiversidad de especies de un sitio; en los sitios donde exista mayor biodiversidad, la puntuación será mayor. Reflejan alteraciones del número total de comunidades de organismos. Los índices más comunes son los siguientes:

2.6.1. Índices de Shannon-Wiener (H')

Toma en cuenta tres componentes: la riqueza de especies, su abundancia y la equitabilidad. Este índice relaciona el número de especies con la proporción de individuos pertenecientes a cada especie presente en la muestra.

El valor máximo que adquiere en los ríos para las comunidades de invertebrados bénticos es de 4,5. Valores inferiores a 2,4 – 2,5 indican que el sistema está sometido a tensión (vertidos, dragados, canalizaciones, regulación por embalses, entre otros). Es un índice que disminuye mucho en agua muy contaminadas.

Tabla I. **Escala de la calidad del agua propuesta para el índice Shannon Wiener**

Índice de Shannon-Wiener		
Escala	Calidad del agua	Color
$H' > 3$	Aguas limpias	Azul
$H' = 2-3$	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
$H' = 1-2$	Aguas medianamente contaminadas	Anaranjado
$H' = 0-1$	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: WASHINGTON, Karl. y QUIROZ, Albert. *Calidad del agua*. p. 17.

2.6.2. Índice de Simpson-Gini (Y)

Expresa la probabilidad compuesta de que dos individuos extraídos al azar de una comunidad pertenecen a la misma especie. Si dicha probabilidad es alta la comunidad es poco diversa.

El índice tomará valores comprendidos entre 0 % y 100 %. Valores inferiores al 20 % indican una calidad muy buena del agua, mientras que si la valoración supera el 60 % la calidad del agua será deficiente o mala. Principalmente es indicador de los siguientes impactos: polución orgánica, degradación en la morfología del río y degradación general.

2.6.3. Índice de Berger-Parker (B)

Mide la dominancia de la especie o taxón más abundante. Este índice adquiere valores comprendidos entre 0 y 1 (0 % y 100 %). Es indicador de los mismos impactos que el índice de Simpson-Gini: polución orgánica, degradación en la morfología del río y degradación general.

2.6.4. Índice de diversidad de Macintosh

Trabaja los tamaños de las poblaciones de los distintos taxones indicando la dominancia de alguno o algunos de ellos.

2.7. Índice de calidad del agua

Es un algoritmo que expresa una medida de la evaluación del estado cualitativo del agua. Es una expresión simplificada de la compleja combinación de factores diferentes cuyo éxito depende de su confiabilidad y de la cantidad de información que ofrezca. Su resultado final puede ser un símbolo único o una combinación simple de variables.

2.7.1. Índices fisicoquímicos de calidad del agua

Se basan en la combinación de diferentes parámetros fisicoquímicos, con el fin de proporcionar una visión de la calidad del agua.

Los parámetros más utilizados son los valores de nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, oxígeno disuelto, conductividad, potencial de hidrogeno, temperatura, DQO, DBO, entre otros.

Estos índices poseen un valor único, el cual se encuentra entre cero, que indica una muy mala calidad, hasta cien, que indica excelente calidad.

El propósito de los índices de calidad del agua (ICA), es simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas de una fuente de agua, según la National Sanitation Foundation-INSF.

El procedimiento para determinar cualquiera de estos índices sigue de manera general los siguientes pasos:

- Selección de variables fisicoquímicas a estudiar.
- Asignación de valores de calidad (0 a 1), a diferentes condiciones de las variables o establecimiento de una ecuación que relacione índice y variable.
- Asignación de coeficientes de ponderación (importancia).

Se encuentran seleccionadas algunas variables que, por su papel ecológico, se consideran relevantes:

- Conductividad: refleja la mineralización de las aguas, dado que conjuga cationes de sodio, potasio, calcio, magnesio, así como los aniones de carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros.
- Potencial de hidrogeno (pH): expresa las principales correlaciones con componentes de mineralización como alcalinidad y, en menor forma, conductividad y solidos disueltos.
- Solidos suspendidos: la turbiedad es otra forma de expresión de esta variable. Sus valores son afectados por procesos erosivos y extractivos, y su efecto sobre los ecosistemas acuáticos es la reducción de la penetración lumínica, limitando los procesos naturales de fotosíntesis. Se relaciona con el amonio y DBO.
- Oxígeno: está relacionado a condiciones como caudal, capacidad de reoxigenación o altitud. Define la presencia o ausencia potencial de todas las especies acuáticas.
- Fosforo total: está ligado a los ortofosfatos que lo conforman, define la eutrofización de los ecosistemas acuáticos.
- Coliformes totales: se correlacionan con los fecales.

2.7.1.1. Índice de calidad general (ICG)

Es un valor adimensional que se basa en 23 parámetros procesados mediante ecuaciones lineales, de los cuales se utilizan 9 básicos y los restantes 14 son complementarios, según su influencia en la calidad. Los 9 parámetros

básicos son: Coliformes totales, conductividad, DBO, DQO, fósforos totales, sólidos en suspensión, nitratos, oxígeno disuelto y pH.

2.7.1.2. Índice simplificado de calidad de agua (ISQA)

Es un índice que proporciona, de manera rápida, la calidad del agua se obtiene a partir de una ecuación que combina 5 parámetros fisicoquímicos: temperatura, DQO, sólidos totales en suspensión, oxígeno disuelto y conductividad. El ISQA tiene valores entre 0 (calidad mínima) y 100 (calidad máxima).

Tabla II. Significado de los valores del ISQA

ISQA	Categoría	Descripción	Color
90 -100	Excelente	La calidad del agua está protegida, se da por sentado una ausencia total de amenazas; las condiciones son cercanas a los niveles naturales.	Azul
80 - 90	Buena	La calidad del agua está protegida contra un menor grado de amenazas; las condiciones raramente se apartan de los niveles naturales o deseados.	Celeste
70 -80	Intermedia	La calidad del agua ocasionalmente afectada; las condiciones a menudo no cumplen con los niveles deseados.	Verde
60 - 70	Admisible	La calidad del agua es frecuente afectada; las condiciones a menudo no cumplen con los niveles deseados.	Anaranjado
0 - 60	Inadmisible	La calidad del agua es continuamente afectadas; las condiciones no cumplen con los niveles deseados.	Rojo

Fuente: Generalitat de Catalunya. *Índice simplificado de la calidad del agua.*

http://mediambient.gencat.net/aca/es//aiguamedi/rius/indexs_gualitat.jsp. Consulta: enero de 2020.

2.7.1.2.1. Deducción del Índice simplificado de calidad de agua (ISQA)

Hay autores que introducen uno de los parámetros que multiplica a la media de los demás parámetros: Bascaran, considera el aspecto y Queralt, la temperatura, este último se ha difundido su uso ampliamente en muchas cuencas del mundo, es conocido como ISQA (Índice Simplificado de Calidad de las Aguas), por sus siglas en inglés y se define como sigue:

El ISQA se obtiene por la relación:

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

Las cinco características escogidas con indicación de su rango son:

A= contenido orgánico (Oxidabilidad al Permanganato o DQO-Mn)

B= componentes insolubles (Materias en suspensión)

C= corresponde al oxígeno disuelto en el agua

D= conductividad eléctrica

T= coeficiente que es función de la temperatura de las aguas del río

2.7.1.3. Índice automático de calidad de agua (IAQA)

Es una variante del ISQA, con la variante de que utiliza COT (carbono orgánico total) en lugar de DQO, debido a que proporciona datos más exactos.

2.8. Índices de contaminación ICO

- Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO): representa variables de contaminación como nitrógeno amoniacal, nitritos, fósforos, oxígeno, DBO5, DQO y coliformes fecales.
- Índice de contaminación por mineralización (ICOMI): expresado en numerosas variables, la conductividad como reflejo de los sólidos disueltos, dureza por los cationes calcio, magnesio y alcalinidad por los aniones.
- Índice de calidad por sólidos suspendidos (ICOSUS): determinado mediante la concentración de los sólidos suspendidos.
- Índice de contaminación trófico (ICOTRO): se determina por la concentración del fosforo total.

2.9. Caracterización de la microcuenca del río Pampumay

La caracterización de una cuenca está dirigida fundamentalmente a cuantificar todos 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 cuantificar los problemas presentes y potenciales.

Para la realización del estudio, es necesario conocer las características y condiciones de la microcuenca del río Pampumay. Se describen dos aspectos de mayor importancia: aspectos socioeconómicos, aspectos morfológicos y aspectos ambientales.

2.9.1. Aspectos socioeconómicos

Se conocen la demanda de la población, sus problemas, sus necesidades sus tendencias, y conflictos con la capacidad de carga de la cuenca. Se incluyen los elementos sociales, culturales, legales, administrativos e institucionales.

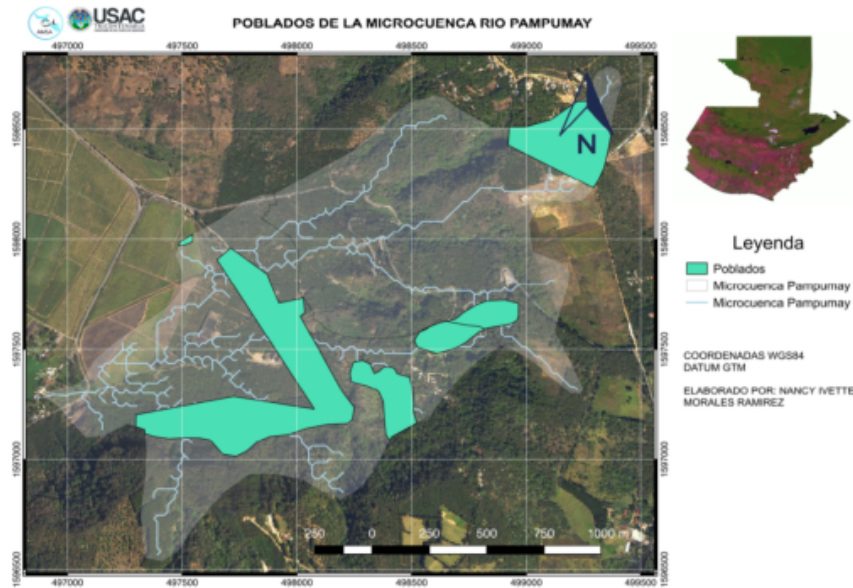
2.9.1.1. Demografía

La microcuenca del río Pampumay está ubicada en el caserío Pampumay en el municipio de Villa Canales.

Según el mapa de densidad poblacional, se observan que en dicho caserío la densidad bruta (expresada en habitantes por hectárea) es de 9,78 % de su área total, esto se debe principalmente, a que este caserío tiene un carácter tipo agrícola y comercial. Estos datos son de INE, del año 2019.

Actualmente, este caserío del municipio ha aumentado la cantidad de proyectos de infraestructura en cuanto carreteras, entre otros

Figura 3. Mapa de poblados



Fuente: elaboración propia, empleando Qgis 2.18.

2.9.1.2. Educación

En la década de 2000 hubo una ampliación de la cobertura educativa en distintos niveles. La tasa neta de escolaridad expresa la relación entre la población inscrita en la edad escolar para el nivel dado y la población total proyecta en dicha edad.

Tabla III. **Nivel de escolaridad de población mayor de 7 años de edad**

	Total	Hombres	Mujeres
Preprimaria	6	6	6
Primaria	11	11	12
Ciclo Básico	5	5	6
Ciclo Diversificado	2	2	3

Fuente: Mineduc. *Cifras para el desarrollo humano*. p. 4.

2.9.1.3. Infraestructura y vivienda

Dentro de las viviendas de la microcuenca esta cuenta con una clasificación F que son construcciones de adobe, tierra o cemento u otros materiales livianos aglomerados con cemento rara vez con entrepisos de madera.

Figura 4. **Tipo de vivienda dentro de la microcuenca**

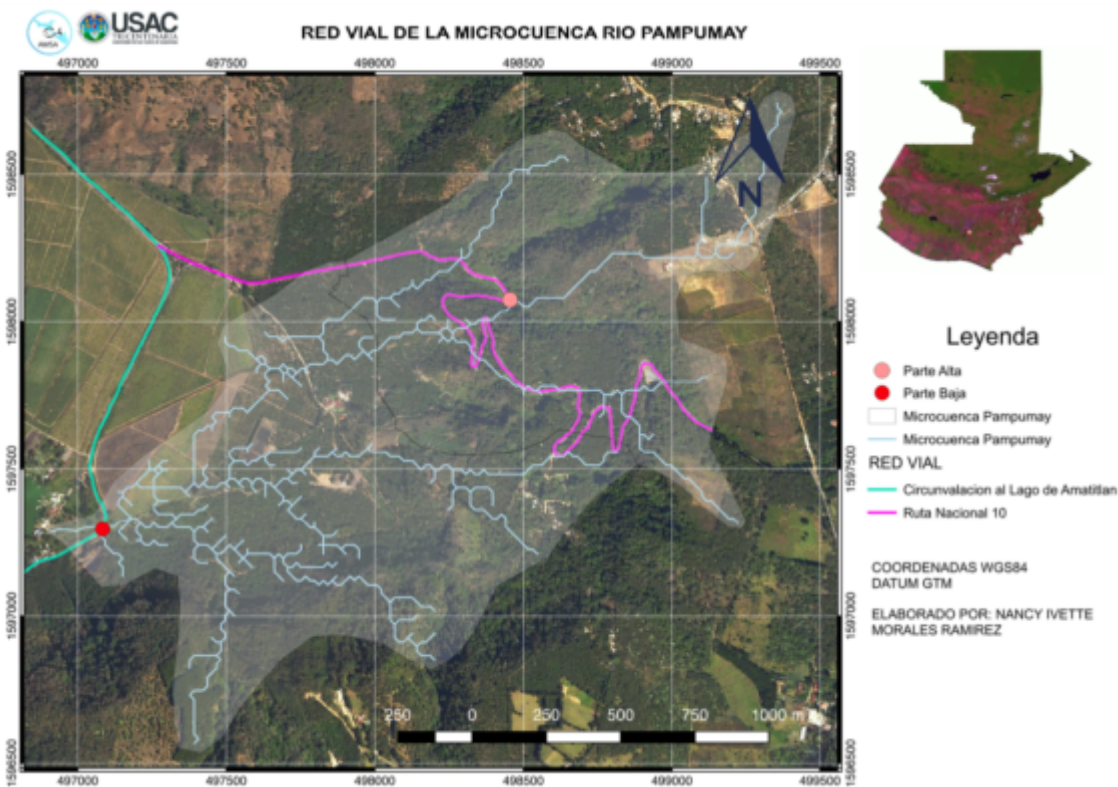


Fuente: elaboración propia.

2.9.1.4. Red vial

La carretera departamental, principal vía de acceso a Villa Canales se divide en ruta departamental 10, que se conecta a la aldea Santa Elena Barrillas, en el caso de la microcuenca existen dos vías carreteras a El Tablón y carretera Circunvalación al lago de Amatitlán.

Figura 5. Red vial de la microcuenca río Pampumay



Fuente: elaboración propia, empleando Qgis 2.18.

2.9.1.5. Salud

Dentro del casco municipal se encuentran se encuentran puestos de salud, los que prestan con bastantes limitaciones al servicio básico a la población, además se encuentran con poco personal capacitados profesionalmente a su servicio.

2.9.2. Aspectos morfológicos

Además del aspecto socioeconómico de la microcuenca del río Pampumay es necesario conocer sus características biológicas, geológicas y físicas, para un mejor manejo y aprovechamiento de sus recursos.

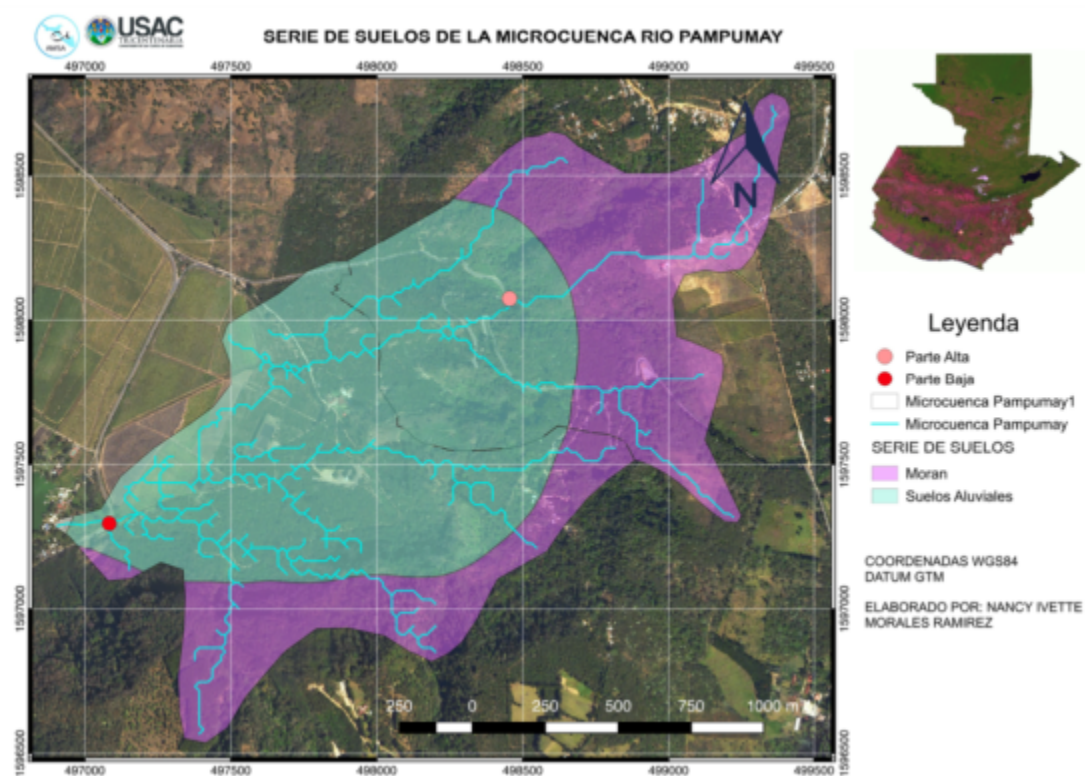
2.9.2.1. Serie de suelos

Según el mapa que se presenta a continuación, la microcuenca del río Pampumay posee dos series de suelos, según la clasificación de Simmons para Guatemala:

- Morán (Mr): son suelos con buen drenaje, se encuentran en relieves fuertemente ondulados a inclinados y se originan de ceniza volcánica pomácea. El suelo superficial tiene color café oscuro y el subsuelo es de color café rojizo, de consistencia friable y textura arcillosa. Su drenaje es regular y su capacidad de abastecimiento de humedad es alta.
- Suelos aluviales (Sa): son suelos de origen fluvial, poco evolucionados, aunque profundos. Aparecen en las vegas de los principales ríos. Se incluyen dentro de los fluvisoles y eútricos, así como antosoles áricos y cumúlicos, si la superficie presenta elevación por aporte antrópico o bien

son sometidos a cultivo profundo. Los suelos aluviales son suelos con perfil poco desarrollado formados de materiales transportados por corrientes de agua. Son suelos que tienen mala filtración y oscuros.

Figura 6. **Mapa de series de suelos**



Fuente: elaboración propia, empleando Qgis 2.18.

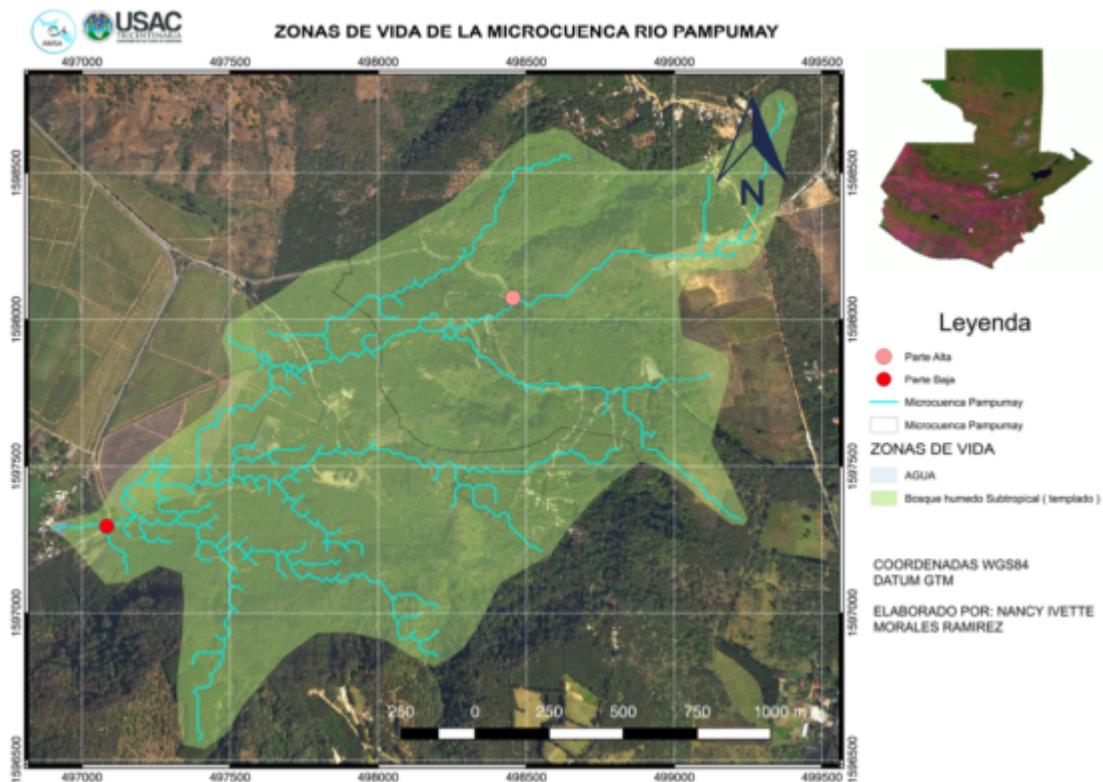
2.9.2.2. Zonas de vida

En cuanto a las zonas de vida presentes en la microcuenca del río Pampumay, existe, dos de ellas.

Bosque húmedo subtropical (templado): se caracteriza por la presencia de precipitación con más frecuencia entre mayo y noviembre. La biotemperatura oscila entre 20 y 26 °C. El terreno tiene un relieve ondulado y accidentado.

Agua sería de un cuerpo de agua el Lago de Amatitlán.

Figura 7. Mapa de zonas de vida

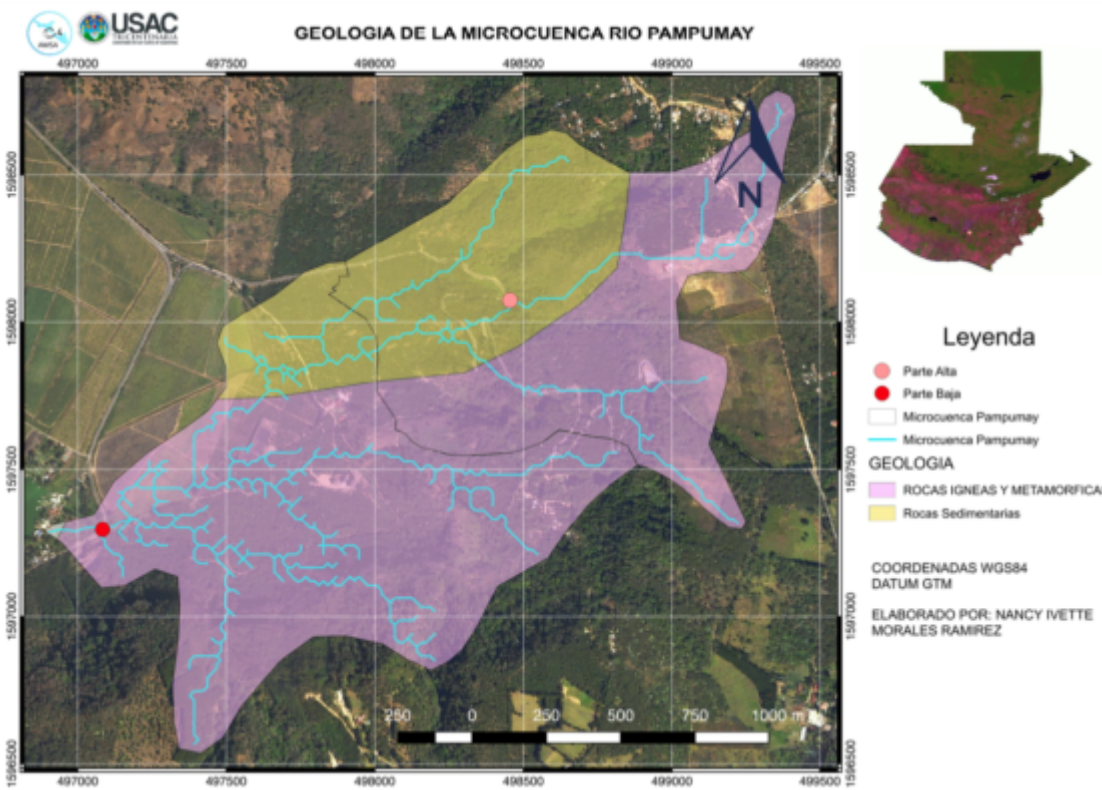


Fuente: elaboración propia, empleando Qgis 2.18.

2.9.2.3. Geología

La geología de la microcuenca del río Pampumay presenta rocas ígneas y metamórficas y sedimentarias.

Figura 8. Mapa de geología



Fuente: elaboración propia, empleando Qgis 2.18.

3. METODOLOGÍA

La metodología se realizará en base a diferentes pasos, los cuales se describen a continuación.

3.1. Variables

Debido a que se requieren dos tipos de muestreo, uno para el índice de diversidad de Shannon Wiener y otro para el índice fisicoquímico, índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), se diferencian dos tipos de variables:

Tabla IV. Variables

Variable	Independiente	Dependiente	Monitoriable	No Monitoriable
Variedad taxonómica	x		x	
Puntuación de macroinvertebrados	x		x	
Número de macroinvertebrados	x		x	
Grado de contaminación	x	X		
Demanda química de oxígeno (DQO)	x		x	
Temperatura	x		x	
Oxígeno Disuelto	x		x	
Sólidos en suspensión	x		x	
Conductividad	x		x	
índice simplificado de la calidad del agua ISQA				x
Índice de diversidad Shannon Wiener				x

Fuente: elaboración propia.

Todas las variables establecidas anteriormente, son susceptibles, de monitoreo tanto en época lluviosa como en época seca.

3.1.1. Variables independientes

Las variables independientes que se consideran en la metodología de esta investigación son:

- Variable taxonómica: es la diversidad de organismos macroinvertebrados que se encuentran en cada uno de los puntos de muestreo, dentro del cuerpo de agua en estudio, en cuya diversidad se basa el mismo.
- Puntuación de macroinvertebrados: Se refiere a la clasificación que se ha dado a cada macroinvertebrado, según su grado de sensibilidad o tolerancia a los contaminantes.
- Número de macroinvertebrados: es el sumatorio total de cada uno de los macroinvertebrados encontrados en los distintos puntos de muestreo.
- DQO: la demanda química de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidar, tanto la materia orgánica como inorgánica, en una muestra de agua residual. La cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno, DQO se expresa en miligramos por litros.
- Temperatura: es la medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia, en este caso, el agua. Se utiliza un termómetro para obtener la medida de la temperatura en grados centígrados.

- Oxígeno disuelto: se refiere a la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua. Es un indicador de contaminación del agua ya que permite la vida en ella. Niveles altos de oxígeno disuelto indican mejor calidad del agua, mientras que los niveles bajos impiden la sobrevivencia de animales. Se mide in situ, en mg/L.
- Sólidos en suspensión totales: se refiere a las partículas que permanecen en suspensión en el agua debido al movimiento del fluido, o debido a que su densidad es menor o igual a la del agua. Es posible eliminar dichos sólidos por medio de filtración y sedimentación.
- Conductividad: se define como la habilidad de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido. El agua se conoce por ser un buen conductor de la electricidad.

3.1.2. Variables dependientes

La variable independiente que se consideró en la metodología de esta investigación es:

- Grado de contaminación: nivel de contaminación orgánica que presenta el cuerpo de agua en estudio, es el resultado de los valores del índice de Shannon-Wiener.
- Índice de diversidad Shannon-Wiener: el valor máximo que adquiere en los ríos para las comunidades de invertebrados benthicos es de 4,5. Valores inferiores a 2,4 – 2,5 indican que el sistema está sometido a tensión (vertidos, dragados, canalizaciones, regulación por embalses, entre otros).

- Índice simplificado de calidad del agua, ISQA: índice sencillo de utilizar, permite conocer de manera rápida la calidad del agua. Se obtiene a partir de una sencilla ecuación que requiere 5 parámetros fisicoquímicos.

3.2. Delimitación de campos de estudio

Los campos de estudio de esta investigación dentro de la Ingeniería Ambiental se componen en tres:

3.2.1. Área de investigación

El área de investigación pertenece al área de la Ingeniería Ambiental ya que el estudio se enfoca en determinar la calidad del agua en una corriente superficial de agua, con el fin de evaluar las condiciones de los ecosistemas acuáticos y los impactos antropogénicos en los mismos.

3.2.2. Campo de investigación

El campo de estudio es la calidad del agua, enfocado a la supervivencia de los organismos acuáticos bentónicos en los ríos, que, para propósitos de la ingeniería ambiental, sirve como indicadores de la calidad de la misma y es el área en la que esta investigación se enfoca en determinar.

3.2.3. Línea de investigación

La línea de estudio es el biomonitoreo (monitoreo biológico), utilizando los macroinvertebrados bentónicos como indicadores, para determinar de la calidad del agua utilizando índices de diversidad.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigadora: Nancy Ivette Morales Ramírez.
- Asesor: Ing. Zenón Much Santos.
- Técnica: Licda. María Lucila Rodríguez Méndez.
- Institución: Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Revisor: Licda Ingrid Lorena Benítez Pacheco.

3.4. Recursos materiales disponibles

A continuación, se describen los recursos disponibles.

3.4.1. Equipo y herramienta a utilizar

- GPS, marca – División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Vehículo mecánico, marca Dirección de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Cinta métrica – División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Red tipo D- División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Conductímetro portátil- División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).

- Oxímetro portátil- División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Multiparamétrico marca HACH- División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Laboratorio portátil para calidad del agua- División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Espectrofotómetro- División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Termoreactor- División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Balanza analítica- División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Bomba de vacío- División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Horno de secado- División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Desecadora eléctrica- División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).

- Reactivos de DQO- División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Pipeta programable- División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Probeta 250 MI.
- Probeta 10 MI.
- Filtros para análisis de sólidos en suspensión- División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Kitasato- División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Hielera para transportar muestras de macroinvertebrados y análisis fisicoquímicos- División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Etanol al 70 %. División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Etanol al 95 %. División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).

- Glicerina para conservar muestras de macroinvertebrados. División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Botas de hule. División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Traje especial de hule para realizar muestreos. División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Recipientes para muestras biológicas. División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Bandeja plástica blanca para identificación de especies. División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Tamiz No. 500. División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Agua destilada. División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Microscopio electrónico marca, División Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).

- Hojas de campo, a utilizar en cada punto de muestreo.

3.4.2. Información y herramienta SIG

- Equipo de computación con capacidad para soportar el software a utilizar.
- Software Qgis 2.18, para utilizar en cada análisis de datos SIG.
- Shapes de características biofísicas- Instituto Nacional de Estadística (INE).

3.5. Técnica cualitativa y cuantitativa

Este estudio fue carácter cualitativo debido a que se midieron la cantidad de macroinvertebrados, parámetros físicos y químicos del agua de la microcuenca del río Pampumay, dando resultados contables para la obtención de índices de calidad y de carácter cualitativo debido a que se interpretó la calidad del agua tomando como referencia a cuerpos naturales de agua.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La etapa experimental se dividió en tres partes, las cuales se describen a continuación.

3.6.1. Metodología a utilizar para el muestreo de macroinvertebrados bénticos lénticos

A continuación, se explica la metodología a utilizar para el muestreo de macroinvertebrados bénticos léntico.

3.6.2. Planificación

Hacer una planificación lógica del recorrido, procurando optimizar recursos financieros, lógicos y otros. Tomar en cuenta las vías de acceso, el transporte adecuado, estado del tiempo, disponibilidad de tiempo para el recorrido, entre otros.

Hacer una calendarización de los muestreos a realizar en cada temporada, para tener una organización interna.

Estructurar un formulario u hoja de campo para el registro de las condiciones particulares de cada sitio.

Tabla V. **Plan de trabajo**

Objetivo Especifico	Metas	Indicador	Actividades	Responsable
Determinar cualitativamente y cuantitativamente la variedad taxonómica de macroinvertebrados existentes en los puntos de muestreo.	Monitoreo completo en época seca y lluviosa.	Numero de muestreo propuestos completados.	1. Seleccionar los puntos de muestreo, buscando la parte alta, media y baja de la cuenca. 2. Recolectar las muestras en cada punto seleccionado. 3. Localizar geográficamente el punto. 4. Identificar las variables taxonómicas.	Nancy Ivette Morales Ramírez
Determinar los parámetros fisicoquímicos de las muestras obtenidas.	Monitoreo completo en época seca y lluviosa.	Numero de muestreo propuestos completados.	1. Recolectar las muestras en cada punto seleccionado. 2. Analizar los parámetros requeridos.	Nancy Ivette Morales Ramírez
Determinar el índice de diversidad Shannon-Weiner.	Realizar las ecuaciones respectivas.	Resultados.	Ingresar los datos.	Nancy Ivette Morales Ramírez
Determinar el índice simplificado de calidad de agua (ISQA).	Realizar las ecuaciones respectivas.	Resultados.	Ingresar los datos.	Nancy Ivette Morales Ramírez
Elaborar mapas que indique los niveles de calidad del agua según los resultados obtenidos.	Mapas elaborados.	Mapas completados junto a sus resultados.	1. Geoposicionar los puntos de muestreo. 2. Realizar un mapeo según las zonas de calidad del agua.	Nancy Ivette Morales Ramírez
Establecer las causas de las variaciones del índice de Shannon-Weiner y ISQA.	Causas y efectos.	Acciones concluidas.	1. Identificar los posibles focos de contaminación. 2. Sugerir las acciones correctivas que deben tomarse.	Nancy Ivette Morales Ramírez

Fuente: elaboración propia.

3.6.3. Preparación de materiales y equipo necesario para la recolección de muestras

Preparar los materiales que son necesarios para el muestreo, como: botas de hule, red de muestreo tipo D, recipientes plásticos, alcohol al 95 %, guantes de látex, hielera, hoja de campo, GPS, cinta métrica, glicerina, conductímetro

portátil, oxímetro portátil, medidor multiparamétrico portátil para la calidad del agua y cualquier otro insumo que sea necesario para el muestreo.

3.6.3.1. Muestreo con red tipo D

Es uno de los métodos más prácticos y utilizados para este tipo de investigación.

3.6.3.2. Descripción de la red tipo D

La red tipo D está formada por: agarradero, aro metálico en forma de letra D, cedazo o malla con poro de 500 um flexible, que tiene la función de un colador.

Figura 9. **Red tipo D**



Fuente: ROLDÁN PÉREZ, Gabriel. *Métodos más usados para la recolección de macroinvertebrados acuáticos*. p. 53.

3.6.4. Procedimiento de muestreo

- Seleccionar un tramo de río no superior a 50 m de largo. Este tramo ser representativo de la generalidad del río, sin indicios de haber sido perturbado recientemente. Debe de tener, de preferencia la mayor cantidad de hábitas posible.
- Identificar y observar los diferentes microhábitat presentes en el tramo del río seleccionado se utiliza (corriente rápida y corriente lenta), en el cual sirve para identificar diferentes microhábitat, tratando de recolectar la mayor diversidad posible.
- La persona encargada del muestreo debe tomar medidas de seguridad antes de empezar el muestreo. Esto significa, colocarse equipo de protección personal (guantes de látex, botas, entre otros), además de identificar zonas de riesgo en el río.
- Iniciar el proceso de muestreo, cronometrando 5 min en cada microhábitas, colocando la red tipo D y colocarla a contracorriente en contacto con el fondo de la superficie del río a muestrear.
- Después de haber pasado los 5 minutos, recolectar la muestra atrapada en la red tipo D, e introducirla en una cubeta de plástico, tomando con el recipiente de plástico la mitad de la capacidad de volumen agua del río, limpiar con el agua recolectada la red tipo D, mover la muestra colocada en la cubeta plástica para luego introducirla nuevamente al recipiente de plástico, colocar alcohol al 95 % hasta llevar el recipiente.

- Enjuagar adecuadamente la red tipo D con agua limpia, antes de continuar siguiendo con la recolección de la segunda muestra.
- Continuar con el muestreo siguiente utilizando el mismo procedimiento.
- Al finalizar el muestreo, lavar la red con suficiente agua limpia y revisarla para evitar el traslape de organismos de un punto al otro.
- Colocar las muestras en una hielera para su traslado al lugar de procesamiento.

3.6.5. Procedimiento para sólidos suspendidos totales

- Colocar 200 ml de la muestra recolectada en una probeta de 250 ml, y se lava 3 veces con la muestra recolectada.
- Pesar el filtro en una balanza analítica, anotar el dato en hoja de campo.
- Armar el aparato de filtración, adicionando un kitasato para luego introducir a la máquina de vacío.
- Armado el circuito, se introduce la muestra al filtro y se recolecta la muestra tomada por el filtro.
- Obtenida la muestra se coloca el filtro en horno a una temperatura (103 a 105 °C), por una hora aproximadamente.
- Colocarla en desecador eléctrico hasta lograr una temperatura ambiente.

- Luego pesar el filtro, anotar los resultados.

3.6.6. Procedimiento para la demanda química orgánica (DQO), mediante el método de colorimetría

- Preparar dos medios (uno blanco y el de la muestra), ambos para rango bajo (5-125 mg/L), como medio ácido sulfúrico.
- Colocar 2,5 ml a cada medio para el blanco y el de la muestra.
- Colocar en un termoreactor a una temperatura 150 °C por una hora aproximadamente, durante la hora tratar de agitar los tubos hasta lograr una visión cristalina.
- Colocar los medios en una gradilla para evitar al accidente, y dejarlos hasta que se enfríen o hasta lograr la temperatura ambiente.
- Colocar ya fríos en el espectrofotómetro, introducir en el software los parámetros analizar colocando la curva de calibración para onda corta de 420 nm.
- Tomar el dato obtenido por software, anotar en las hojas de campo.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento

Los formatos utilizados para la tabulación y ordenamiento de los datos se describen a continuación. El ordenamiento de los parámetros obtenidos se hace acorde a su características fisicoquímica y biótica.

Tabla VI. **Parámetros fisicoquímicos**

Muestra	°C	μ/cm	mg/L	mg/L	mg/L
	Temperatura	Conductividad eléctrica	Oxígeno disuelto	DQO	SST
1	T1	C1	OD1	DQO1	SST1
2	T2	C2	OD2	DQO2	SST2
3	T3	C3	OD3	DQO3	SST3
4	T4	C4	OD4	DQO4	SST4
5	T5	C5	OD5	DQO5	SST5
6	T6	C6	OD6	DQO6	SST6
7	T7	C7	OD7	DQO7	SST7
8	T8	C8	OD8	DQO8	SST8
9	T9	C9	OD9	DQO9	SST9
10	T10	C10	OD10	DQO10	SST10

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Parámetros bióticos**

Muestra	<i>Phyllum</i>	Clase	Orden	Familia	Abundancia
1	<i>Phyllum</i>	clase	orden	familia	x1
2	<i>Phyllum</i>	clase	orden	familia	x2
3	<i>Phyllum</i>	clase	orden	familia	x3
4	<i>Phyllum</i>	clase	orden	familia	x4
5	<i>Phyllum</i>	clase	orden	familia	x5
6	<i>Phyllum</i>	clase	orden	familia	x6
7	<i>Phyllum</i>	clase	orden	familia	x7
8	<i>Phyllum</i>	clase	orden	familia	x8
9	<i>Phyllum</i>	clase	orden	familia	x9
10	<i>Phyllum</i>	clase	orden	familia	x10

Fuente: elaboración propia.

3.7.1. Procesamiento de la información para el cálculo del índice de diversidad de Shannon Wiener

La investigación consiste en tanto en cualitativa descriptiva, además se utilizará la ecuación del índice de diversidad de Shannon-Wiener y el índice simplificado de calidad del agua (ISQA), y además se aplicará promedio aritmético.

3.7.1.1. Ecuación del Índice de diversidad de Shannon Wiener

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

H' = índice de Shannon-Wiener

S= número de especies

Pi= número de individuos de la spi / número total de individuos de la comunidad

Pi ln pi= se calcula y suma por cada especie existente

3.7.1.2. Ecuación del Índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)

$$ISQA = E * (A + B + C + D) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

E= temperatura en °C. Puede tomar valores entre 0,8 y 1,0 utilizando las siguientes ecuaciones.

- Valores que puede asumir E

$$E = 1 \text{ si } T \leq 20 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 3}$$

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

A= demanda química orgánica (DQO), según la oxidabilidad al permanganato.
Toma valores entre 0 y 30 utilizando las siguientes ecuaciones:

- Valores que puede asumir A

$$A = 30 - \text{DQO} \text{ si } \text{DQO} \leq 10 \text{ mg/L} \quad \text{Ecuación 4}$$

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

$$A = 0 \text{ si } \text{DQO} > 60 \text{ mg/L.}$$

B = sólidos en suspensión totales (SST en miligramos por litros): toma valores entre 0 y 25, según las ecuaciones:

- Valores que puede asumir B

$$B = 25 - (0,15 * \text{SST}) \text{ si } \text{SST} \leq 100 \text{ mg/L} \quad \text{Ecuación 5}$$

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

$$B = 0 \text{ si } \text{SST} > 250 \text{ mg/L.}$$

C = oxígeno disuelto (OD en miligramos por litros): toma valores entre 0 y 25, según las ecuaciones:

- Valores que puede asumir C

$$C = 2,5 * O_2 \quad \text{si } O_2 < 10 \text{ mg/L} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$C = 25 \quad \text{si } O_2 \geq 10 \text{ mg/L}$$

D= Conductividad Eléctrica (CE en microsiemens por centímetro): si la conductividad se mide a 25 °C, para obtener la conversión a 18 °C, se multiplica por un factor de 0,86. Toma valores entre 0 y 20, según las ecuaciones:

- Valores que puede asumir D

$$D = (3,6 - \log CE) * 15,4 \quad \text{si } CE \leq 4\,000 \mu\text{s/cm} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$D = 0 \quad \text{si } CE > 4\,000 \mu\text{s/cm}$$

3.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en base a la escala de colores propuesta para cada índice y la comparación de la calidad del agua.

4. RESULTADOS

4.1. Muestra de cálculo para la determinación del índice de diversidad de Shannon Wiener

A continuación, se explica la muestra de cálculo para la determinación del índice de diversidad Shannon Wiener.

Tabla VIII. **Macroinvertebrados encontrados en el primer monitoreo en la parte alta de la microcuenca del río Pampumay en época seca**

<i>Phyllum</i>	<i>Clase</i>	<i>Orden</i>	<i>Familia</i>	<i>Abundancia</i>
<i>Arthropoda</i>	Insecta	<i>Coleoptera</i>	<i>Hydraenidae</i>	24
<i>Arthropoda</i>	Insecta	<i>Hemiptera</i>	<i>Veliidae</i>	1
<i>Arthropoda</i>	Insecta	<i>Hemiptera</i>	<i>Mesoveliidae</i>	1
<i>Arthropoda</i>	Insecta	<i>Tricoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>	13
<i>Arthropoda</i>	Insecta	<i>Coleoptera</i>	<i>Elmidae</i>	2
<i>Arthropoda</i>	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	3
<i>Arthropoda</i>	Insecta	<i>Plecoptera</i>	<i>Perlidae</i>	1
<i>Arthropoda</i>	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Leptophlebiae</i>	1

Fuente: elaboración propia.

Dado que el índice de diversidad de Shannon Wiener se constituye con la ecuación 1, por el número de familias encontradas en el punto de monitoreo:

$$H' = - \sum_{i=0}^s p_i \ln p_i$$

Ecuación 1

Donde:

H' = Índice de Shannon-Wiener

S= número de especies

Pi= número de individuos de la spi / número total de individuos de la comunidad

Pi ln pi= se calcula y suma por cada especie existente

Tabla IX. **Cálculo del índice de Shannon Wiener para la parte alta de la microcuenca del río Pampumay**

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia	pi	Ln(pi)	pi*(Lnpi)
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Hydraenidae	24	0,521739	-0,65059	-0,33944
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Veliidae	1	0,021739	-3,82864	-0,08323
Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Mesoveliidae	1	0,021739	-3,82864	-0,08323
Arthropoda	Insecta	Tricoptera	Hydropsychidae	13	0,282609	-1,26369	-0,35713
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	2	0,043478	-3,13549	-0,13633
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	3	0,065217	-2,73003	-0,17805
Arthropoda	Insecta	Plecoptera	Perlidae	1	0,021739	-3,82864	-0,08323
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	1	0,021739	-3,82864	-0,08323

Fuente: elaboración propia.

Dado que el índice de diversidad es sencillamente la sumatoria de la columna pi*(lnpi), de cada familia encontrada en el punto monitoreado:

$$H' = p_1 * (\ln p_1) + p_2 * (\ln p_2) + p_3 * (\ln p_3) + p_4 * (\ln p_4) + p_5 * (\ln p_5) + p_6 * (\ln p_6) + p_7 * (\ln p_7) + p_8 * (\ln p_8)$$

$$H' = -1 * (-0,033947 + -0,08323 + -0,08323 + 0,3571 + 0,1363 + 0,1780 + 0,08323 + -0,08323)$$

$$H' = 1,3438$$

Se utilizó el mismo procedimiento para los demás casos de cada punto monitoreado.

4.2. Muestra de cálculo para la determinación del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)

A continuación, se explica la muestra de cálculo para la determinación del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA).

4.2.1. Cálculo del valor del parámetro E de temperatura en la ecuación del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)

En la tabla X se describe los datos originales de temperatura en la muestra de la cuenca baja del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay.

Tabla X. Datos originales de temperatura en la muestra de la cuenca alta del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay

Parte alta		
Parámetros		
Temperatura	21,40	°C

Fuente: elaboración propia.

Se utilizó la ecuación 3 para obtener el valor del parámetro E. Según las restricciones de dicha ecuación, el valor del parámetro E se calculó de la siguiente manera:

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

$$E = 1 - (21,40 - 20,00) * 0,0125$$

$$E = 0,98$$

Se utilizó la ecuación 3 para la parte baja de la microcuenca del río Pampumay del punto de monitoreo.

4.2.2. Cálculo del valor del parámetro A de la demanda química orgánica (DQO) en la ecuación del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)

En la tabla XI se describe los datos originales DQO en la muestra de la cuenca alta del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay.

Tabla XI. **Datos originales DQO en la muestra de la cuenca alta del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay**

Parte alta		
Parámetros		
DQO	6,00	mg/L

Fuente: elaboración propia.

Se utilizó la ecuación 4 para obtener el valor del parámetro A. Según las restricciones de dicha ecuación, el valor del parámetro A se calculó de la siguiente manera:

$$A = 30 - DQO \quad \text{Si } DQO \leq 10 \text{ mg/L}$$

$$A = 30,00 - 6,00$$

$$A = 24,00$$

Se utilizó la ecuación 4 para la parte baja de la cuenca del punto de monitoreo en la microcuenca del río Pampumay.

4.2.3. Cálculo del valor del parámetro B de sólidos en suspensión totales (SST) en la ecuación del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)

En la tabla XII se muestran los datos calculados de SST del en la muestra de la cuenca baja del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay.

Tabla XII. **Datos originales SST en la muestra de la cuenca alta del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay**

Parte alta		
Parámetros		
SST	8,50	mg/L

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo del valor del parámetro B se utilizó la ecuación 5, tomando en cuenta las restricciones de dicha ecuación, se determinó el valor de B de la manera siguiente:

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

$$B = 25 - (0,15 * 8,5) \quad \text{ya que } \frac{6 \text{ mg}}{\text{l}} \leq \frac{100 \text{ mg}}{\text{l}}$$

$$B = 23,73$$

Se utilizó la ecuación 5 para la parte baja de la cuenca del punto de monitoreo en la microcuenca del río Pampumay.

4.2.4. Cálculo del valor del parámetro C de oxígeno disuelto (OD) en la ecuación del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)

En la tabla XIII se muestran los datos originales de OD en la muestra de la cuenca baja del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay.

Tabla XIII. **Datos originales de oxígeno disuelto en la muestra de la cuenca alta del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay**

Parte alta		
Parámetros		
Oxígeno disuelto	6,75	mg/L

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo del valor del parámetro C se utilizó la ecuación 6, tomando en cuenta las restricciones de dicha ecuación, se determinó el valor de C de la manera siguiente:

$$C = 2,5 * OD \quad \text{si } OD < \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$
$$C = 2,5 * 6,75 \quad \text{ya que } 5,40 \frac{\text{mg}}{\text{l}} < 10 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$C = 16,88$$

Se utilizó la ecuación 6 para la parte alta de la cuenca del punto de monitoreo en la microcuenca del río Pampumay.

4.2.5. Cálculo valor del parámetro D de conductividad en la ecuación del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)

En la tabla XIV se muestra los datos de conductividad en la muestra de la cuenca alta del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay.

Tabla XIV. **Datos originales de conductividad en la muestra de la cuenca baja del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay**

Parte alta		
Parámetros		
Conductividad eléctrica	185,30	mg/L

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo del valor del parámetro D se utilizó la ecuación 7, tomando en cuenta las restricciones de dicha ecuación, se determinó el valor de D de la manera siguiente:

$$D = (3,6 \log \log CE) * 15,4 \quad \text{si } CE \leq 4\,000 \frac{S}{cm}$$

$$D = (3,6 \log \log 185,30) * 15,4 \quad \text{ya que } 192,50 \frac{S}{cm}$$

$$D = 20,51$$

Se utilizó la ecuación 7 para la parte baja de la cuenca del punto de monitoreo en la microcuenca del río Pampumay.

4.2.6. Cálculo del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA)

A continuación, se explica el cálculo del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), en la siguiente tabla XV.

Tabla XV. **Datos calculados de los parámetros a utilizar en la muestra de la cuenca alta del punto de monitoreo de la microcuenca río Pampumay**

INDICE ISQA		
ISQA	83,41	
E	0,98	Temperatura
A	24,00	DQO
B	23,73	SST
C	16,88	OD
D	20,51	Conductividad

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo del valor numérico del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), se utilizará la ecuación 2, como se establece a continuación:

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

$$ISQA = 0,980 * (24,000 + 23,725 + 16,875 + 20,515)$$

$$ISQA = 83,412$$

Según la tabla XIV, se utilizó la ecuación 2 para los demás puntos de monitoreo en la época lluviosa y época seca.

4.3. Análisis estadístico de los datos

Para organizar y resumir datos, se utilizó la medida más conocida y útil para un conjunto dado de números, como es el caso de los resultados de los Índice de diversidad y índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) para cada monitoreo realizado, la media o promedio aritmético del conjunto.

$$X = \frac{x_1+x_2+\dots+x_n}{n} \quad \text{Ecuación 8}$$

Tabla XVI. **Resultados del índice de diversidad Shannon Wiener para la microcuena en época seca**

Muestreo	Mes	H'	Interpretación	Color
1	Marzo	0,97	Fuertemente contaminada	
2	Abril	1,04	Medianamente contaminada	
3	Octubre	1,13	Medianamente contaminada	
4	Noviembre	1,32	Medianamente contaminada	
5	Diciembre	1,04	Medianamente contaminada	
Promedio		1,10	Medianamente contaminada	
			Medianamente contaminada	

Fuente: elaboración propia.

Se utilizó la ecuación 8 para la época seca y lluviosa de los resultados de cada índice.

4.4. Tablas resultados de datos calculados

A continuación, se muestran las tablas resumen de datos calculados.

4.4.1. Tablas resumen para índice de Shannon Wiener

A continuación, las tablas XVII, XVIII y XIX se describe el resumen.

Tabla XVII. **Resultados para el Índice de diversidad de Shannon Wiener para la microcuenca baja en época lluviosa**

Muestreo	Mes	H'	Interpretación	Color
1	Mayo	0,67	Fuertemente contaminada	Rojo
2	Junio	1,01	Medianamente contaminada	Amarillo
3	Julio	1,33	Medianamente contaminada	Amarillo
4	Agosto	0,84	Fuertemente contaminada	Rojo
5	Septiembre	1,15	Medianamente contaminada	Amarillo
Promedio		0,99	Fuertemente contaminada	Rojo

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Resultado para el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) en época seca**

Muestreo	Mes	ISQA	Interpretación	Color
1	Marzo	81,29	Buena	
2	Abril	66,48	Admisible	
3	Octubre	69,84	Admisible	
4	Noviembre	77,97	Intermedia	
5	Diciembre	68,20	Admisible	
Promedio		72,76	Intermedia	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Resultado para el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) en época lluviosa**

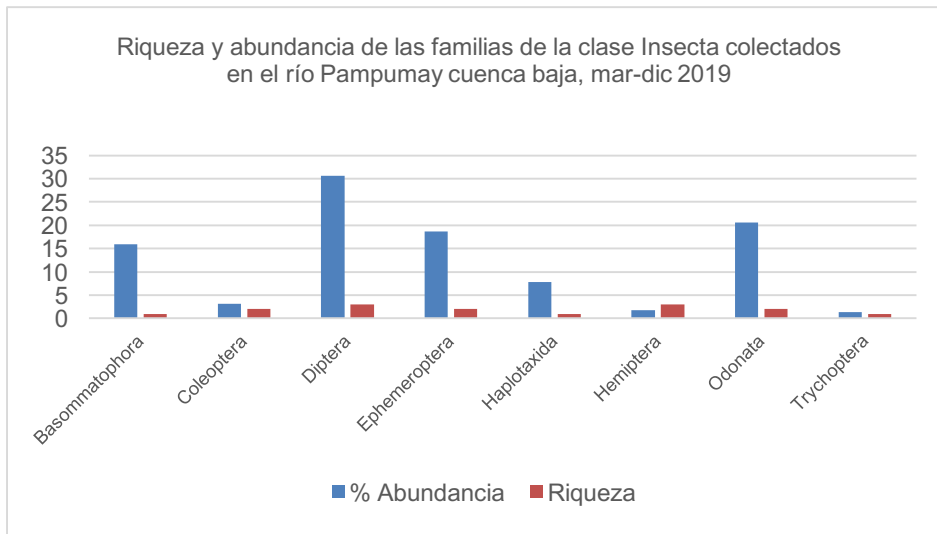
Muestreo	Mes	ISQA	Interpretación	Color
1	Mayo	63,49	Admisible	
2	Junio	79,11	Admisible	
3	Julio	77,96	Intermedia	
4	Agosto	68,86	Admisible	
5	Septiembre	59,64	Inadmisible	
Promedio		69,81	Admisible	

Fuente: elaboración propia.

4.5. **Distribución de los ensambles de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca Pampumay**

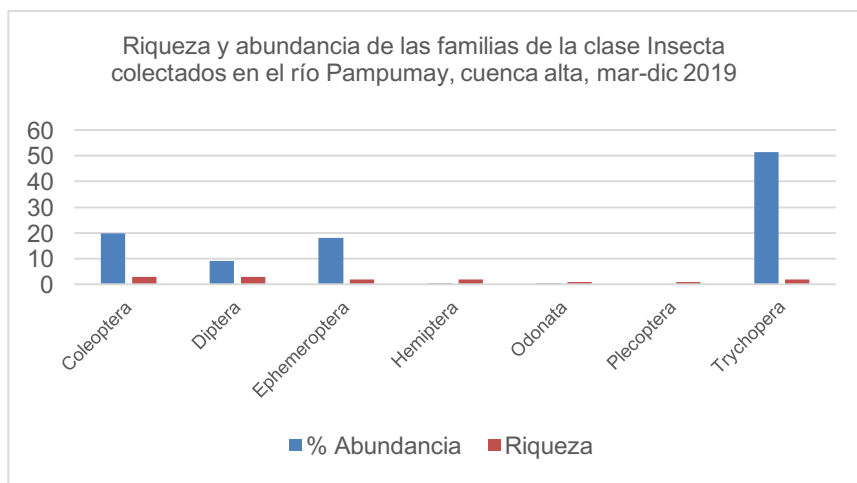
En las siguientes tablas se describe la distribución de los ensambles de macroinvertebrados acuáticos.

Figura 10. **Riqueza y abundancia de las familias encontradas en la microcuenca alta del río Pampumay**



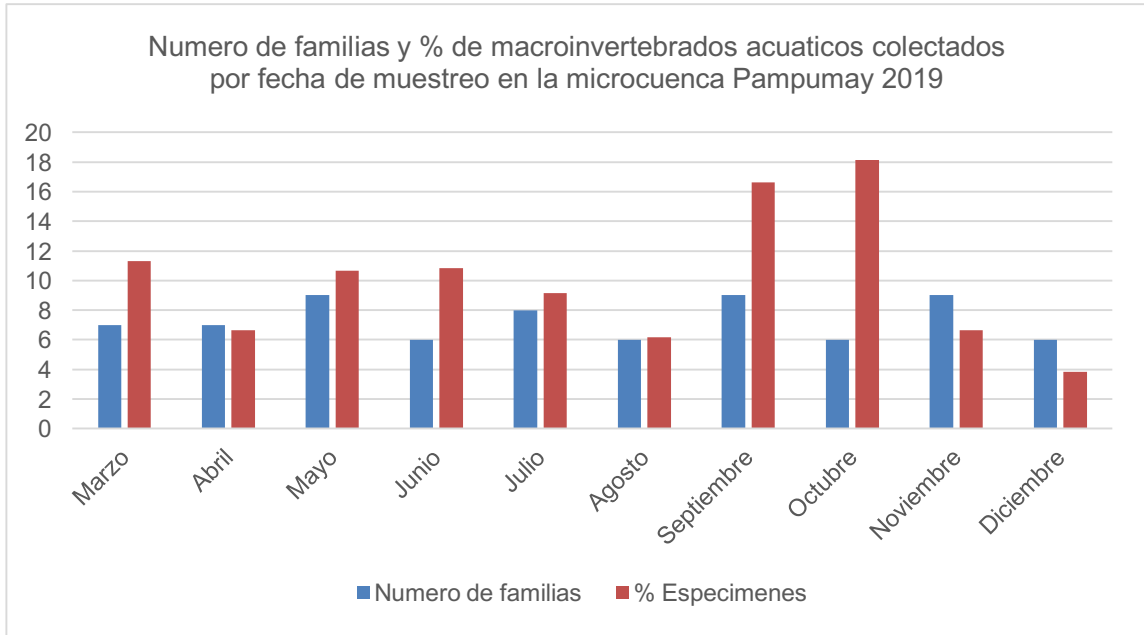
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Riqueza y abundancia de las familias encontradas en la cuenca baja del río Pampumay**



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Número de familias y % de macroinvertebrados recolectados de la microcuenca del río Pampumay**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Influencia estacional sobre la calidad del agua sobre índice de diversidad de Shannon Wiener**

Parte del río	H' época seca	H' época lluviosa
Alta	1,26	1,06
Baja	0,94	0,93

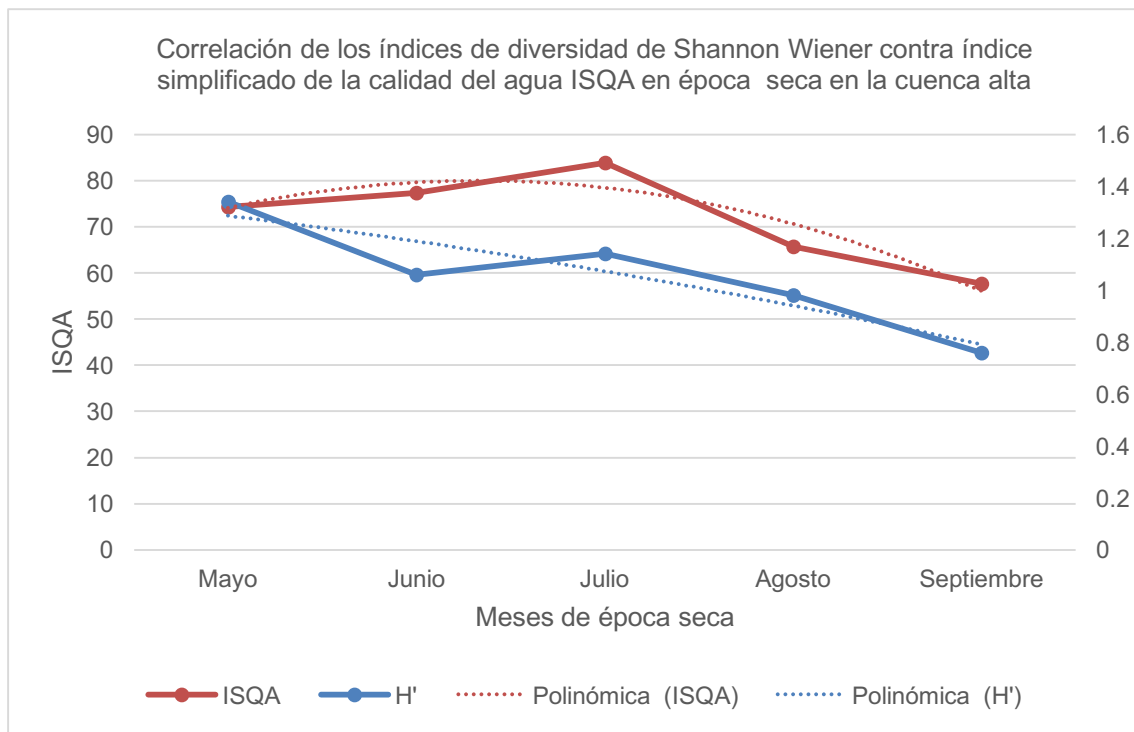
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Influencia estacional sobre la calidad del agua sobre índice simplificado de la calidad del agua ISQA**

Parte del río	ISQA época seca	ISQA época lluviosa
Alta	69,06	71,78
Baja	76,45	67,84

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Correlación de los índices de diversidad de Shannon Wiener contra índice simplificado de la calidad del agua ISQA en época seca en la cuenca alta**



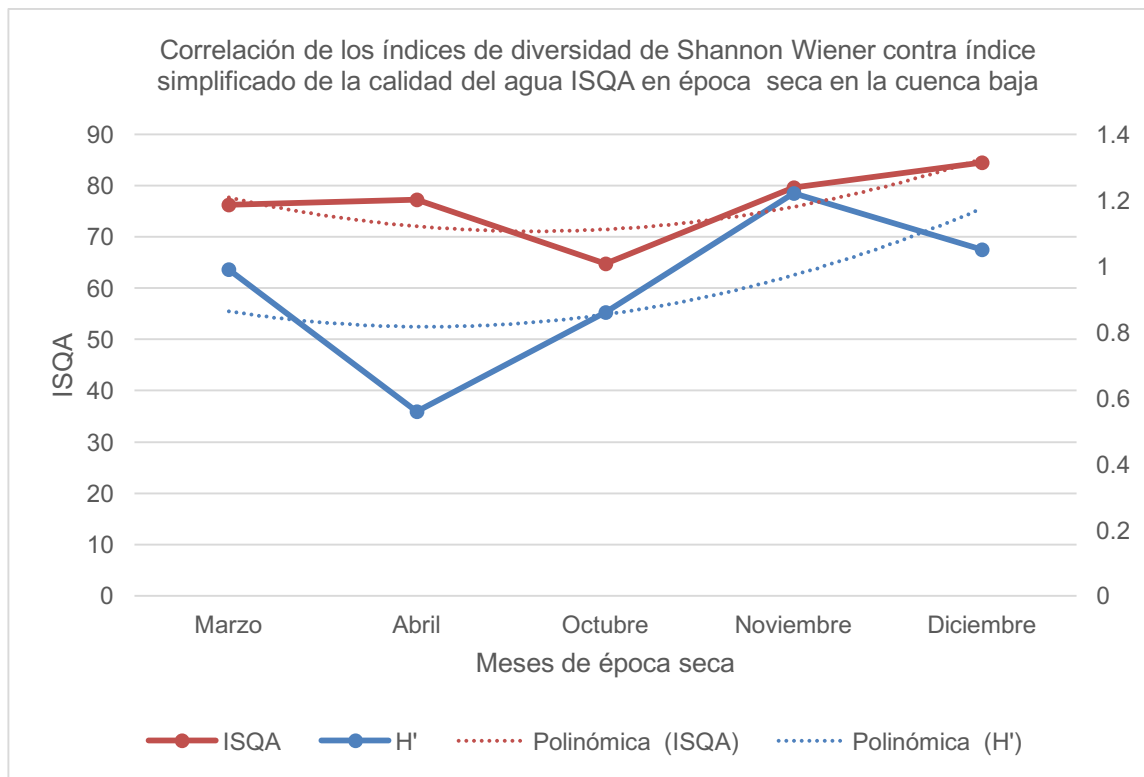
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. Ecuación y coeficiente de correlación de la figura 1

Parámetro	Modelo matemático	R
H'	$H' = -0,35x^2 - 2,58x + 80,95$	-0,27
ISQA	$ISQA = -0,14x^2 + 0,73x + 0,36$	0,86

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Correlación de los índices de diversidad de Shannon Wiener contra índice simplificado de la calidad del agua ISQA en época seca en la cuenca baja



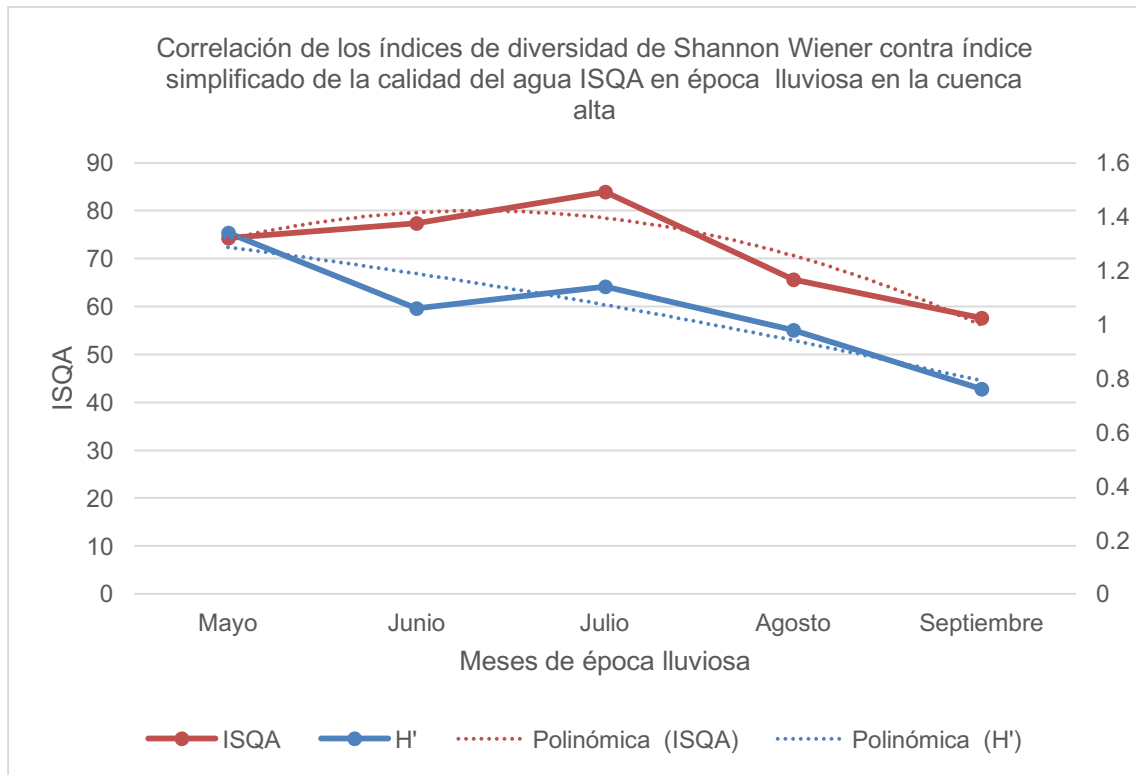
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. Ecuación y coeficiente de correlación de la figura 2

Parámetro	Modelo matemático	R
H'	$H' = 0,04x^2 - 0,17x + 0,99$	0,34
ISQA	$ISQA = 2,49x^2 - 13,09x + 88,24$	0,58

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Correlación de los índices de diversidad de Shannon Wiener contra índice simplificado de la calidad del agua ISQA en época lluviosa en la cuenca alta



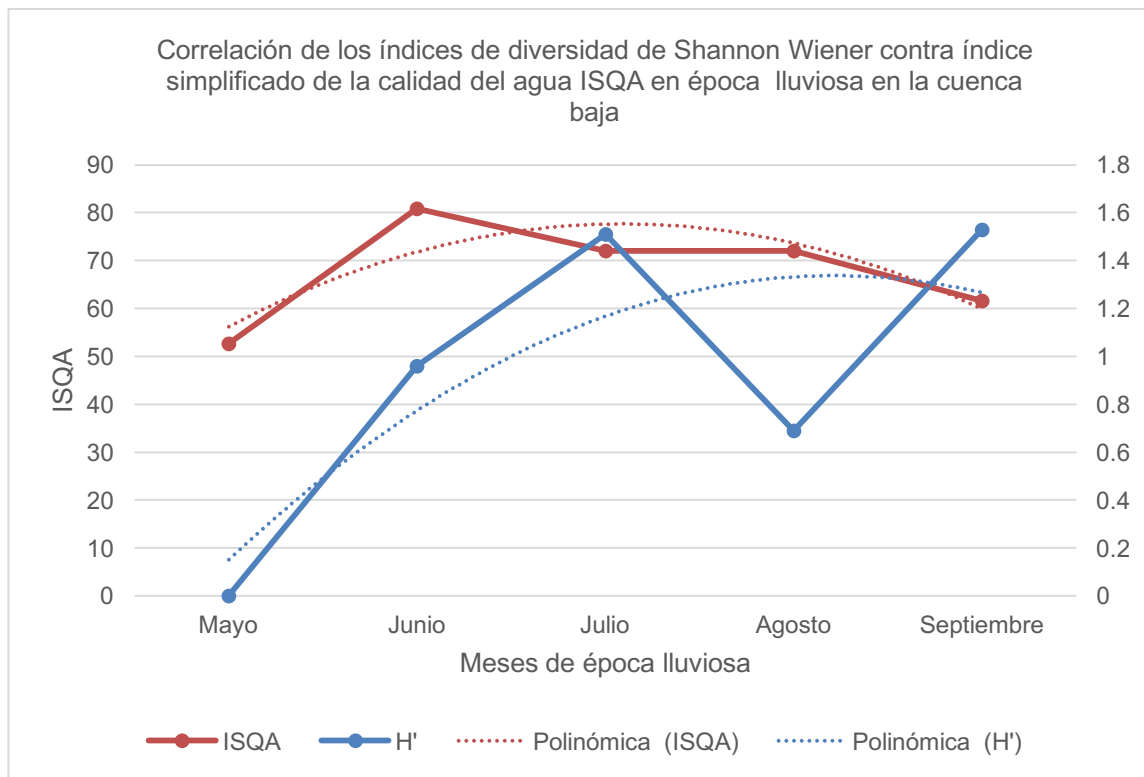
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. Ecuación y coeficiente de correlación de la figura 3

Parámetro	Modelo matemático	R
H'	$H' = -0,01x^2 + 0,07x + 1,36$	0,85
ISQA	$ISQA = 3,34x^2 + 1\,556x + 61,88$	0,85

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Correlación de los índices de diversidad de Shannon Wiener contra índice simplificado de la calidad del agua ISQA en época lluviosa en la cuenca baja



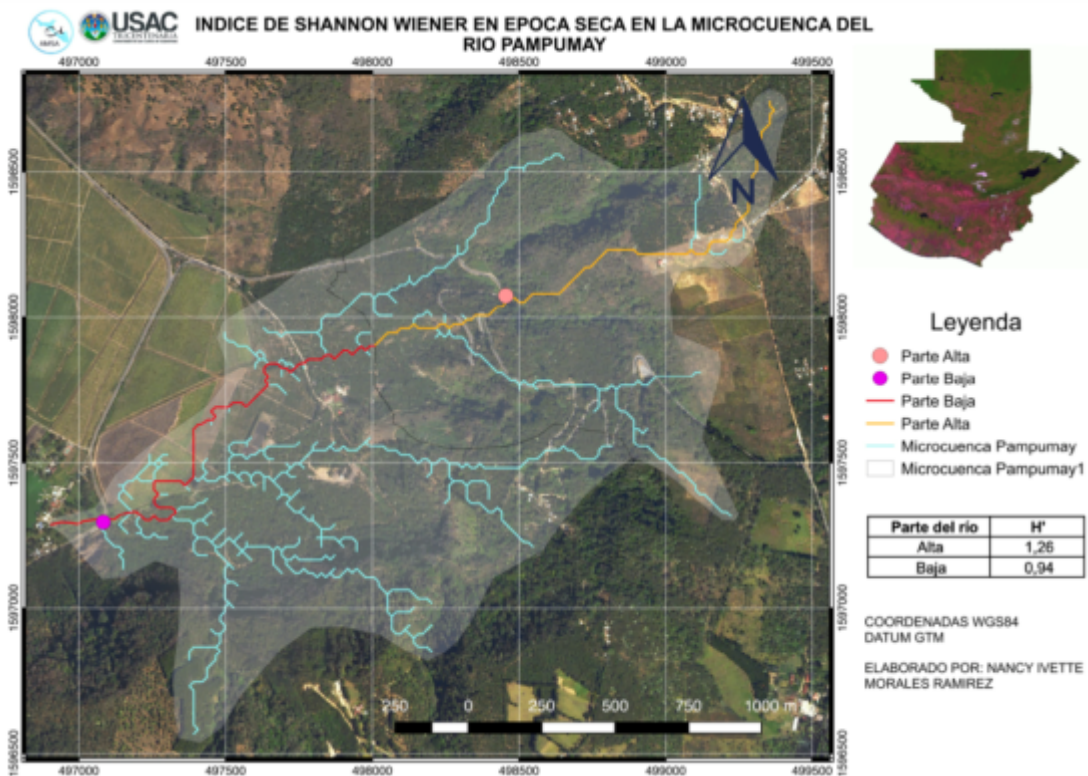
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. Ecuación y coeficiente de correlación de la figura 4

Parámetro	Modelo matemático	R
H'	$H' = -0,11x^2 + 0,96x - 0,70$	0,59
ISQA	$ISQA = -4,88x^2 + 30,25x + 30,86$	0,72

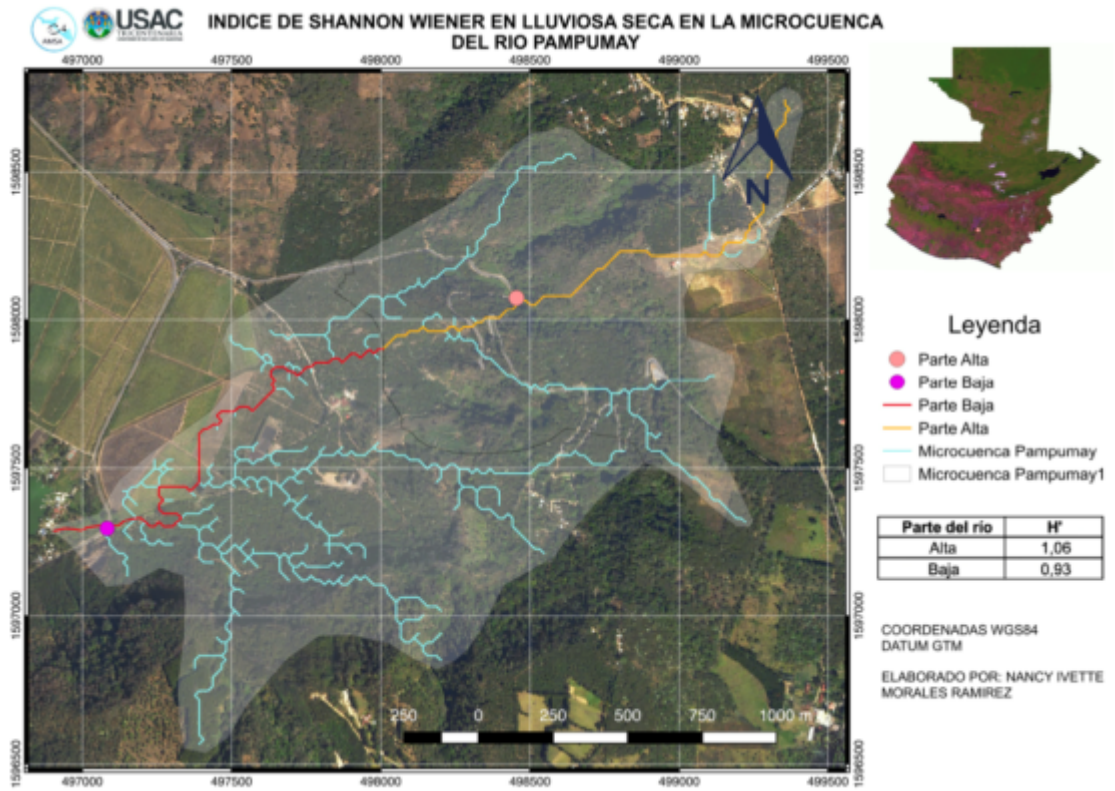
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Calidad del agua del índice de diversidad de Shannon Wiener en época seca



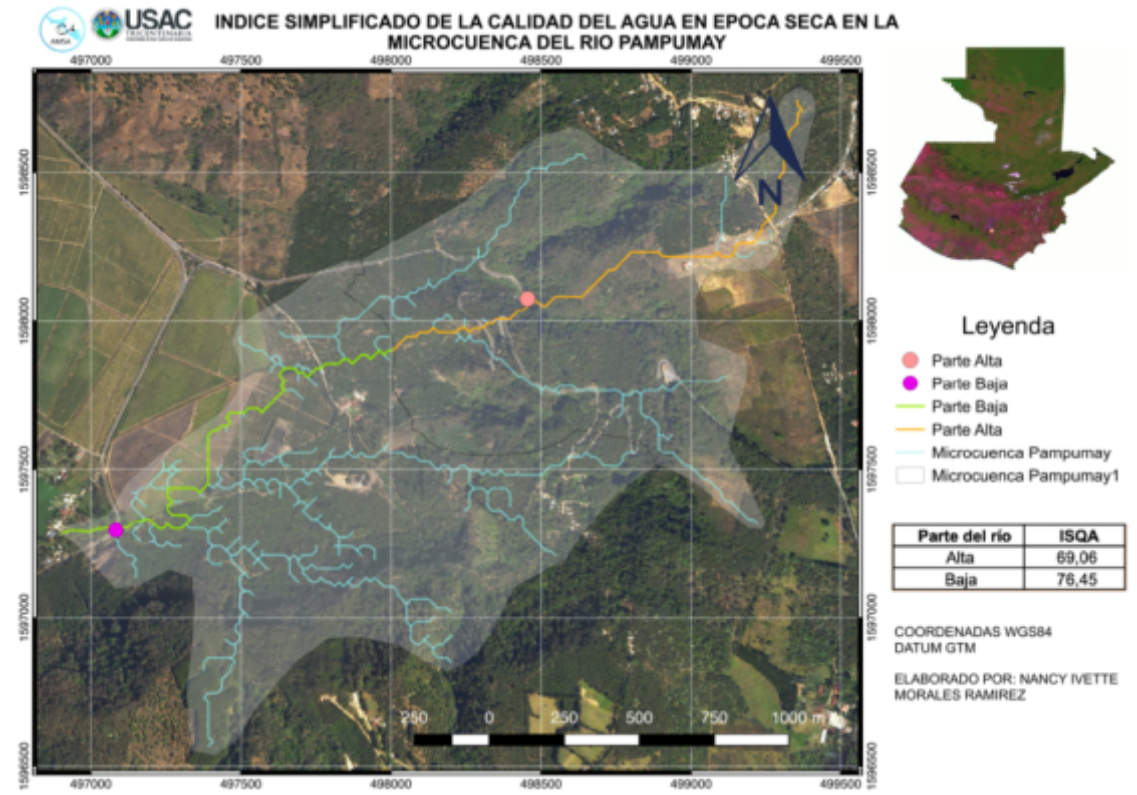
Fuente: elaboración propia, empleando Qgis 2.18.

Figura 18. **Calidad del agua del índice de diversidad de Shannon Wiener en época lluviosa**



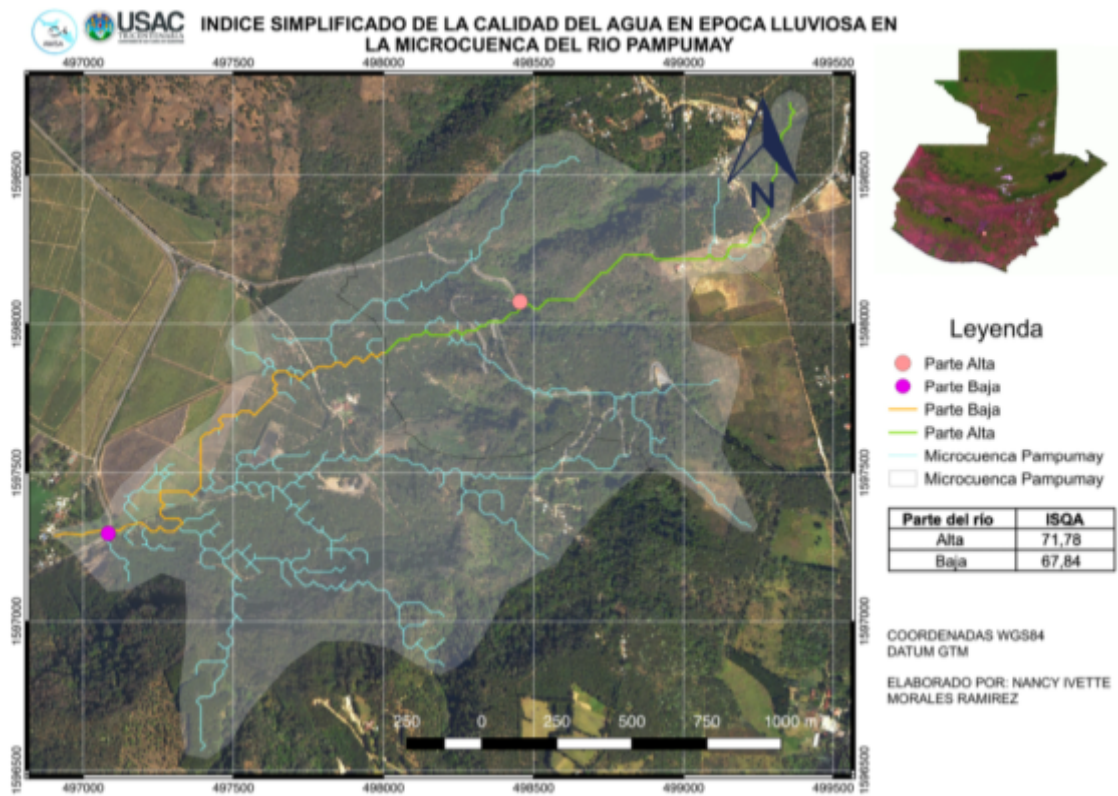
Fuente: elaboración propia, empleando Qgis 2.18.

Figura 19. **Calidad del agua del índice de simplificado de la calidad del agua en época seca**



Fuente: elaboración propia, empleando Qgis 2.18.

Figura 20. Calidad del agua del índice de simplificado de la calidad del agua en época lluviosa del agua en época lluviosa



Fuente: elaboración propia, empleando Qgis 2.18.

5. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En una serie de muestreos llevados en los meses de época seca y época lluviosa en los dos puntos de monitoreo, se obtuvieron muestras de macroinvertebrados en los que fueron utilizados en el índice de diversidad de Shannon Wiener y muestras de agua para el análisis fisicoquímico en el cual se determinaron cinco parámetros propuestos por el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA).

Se determinó el índice de diversidad de Shannon Wiener de los individuos obtenidos de las muestras recolectadas se mantuvo en valores promedio medianamente contaminados (rango 1,0 – 2,0), en época seca y en fuertemente contaminados (rango 0,0 – 1,0) en época lluviosa, lo que evidencia una fuerte contaminación antropogénica de residuos de basura, aunque no tiene evidencia de carga residual, por lo que hay bajas en la variación de familias de macroinvertebrados y la abundancia de los mismos.

En la parte fisicoquímica de las muestras recolectadas de agua de los resultados consistió en el análisis de los parámetros que exige el índice simplificado de la calidad del agua en los cuales hay que decir que son accesibles para medir además también algunos son parámetros in situ, lo que disminuye costo y tiempo; los cuales son los más representativos dentro de la calidad de los cuerpos de agua.

En el análisis de diversidad de Shannon Wiener, se tomaron valores promedio de los meses muestreados durante en época seca como en época lluviosa. Durante el análisis de muestras de macroinvertebrados de la parte alta

de la microcuenca en época seca obtuvo un rango más alto ($H' = 1.098$), lo que significa aguas medianamente contaminadas, mientras que la parte baja obtuvo un rango menor ($H' = 0.997$), lo que significa aguas fuertemente contaminadas.

Durante el muestreo de la época seca como en la época lluviosa en la parte alta de la microcuenca hubo siete órdenes: Coleóptera, Díptera, Ephemeroptera, Hemíptera, Odonata, Plecóptera y Trychoptera; en la cual posee un número de familias colectadas, con un total de 15 familias de las cuales fueron; *Elmidae*, *Hydraenidae*, *Ptilodactylidae*, *Dysticidae*, *Simuliidae*, *Chironomidae*, *Muscidae*, *Baetidae*, *Leptophebidae*, *Veliidae*, *Mesoveliidae*, *Calopterygidae*, *Hydropsychidae* *Hydrophilidae* y *Perlidae*.

En la parte baja de la microcuenca se tienen órdenes *Basommatophora*, *Coleóptera*, *Díptera*, *Ephemeroptera*, *Haplontaxida*, *Hemíptera*, *Odonata* y *Trychoptera*; esta posee el mismo número de familias colectadas, con un total de 15 familias de las cuales fueron: *Physidae*, *Empididae*, *Dystiscidae*, *Simuliidae*, *Chironomidae*, *Tabanidae*, *Baetidae*, *Leptohyphidae*, *Tubificidae*, *Mesoveliidae*, *Veliidae*, *Belostomatidae*, *Caenagrionidae*, *Calopterygidae* y *Hydropsychidae*.

La variación en el comportamiento del número de macroinvertebrados colectados, clasificados por puntos de muestreo, está evidenciado un drástico cambio cuantitativo entre las poblaciones de individuos, en la cuenca alta fue de 379 individuos colectados en todos los meses de monitoreo además en la cuenca baja fueron 219 individuos colectados a las disminuciones de los mismos, este caso podría estar relacionado con la explotación del recurso hídrico para la producción de caña de azúcar en el sector, limitando las formas de vida presentes en el área ver figura 21.

Figura 21. **Explotación del recurso hídrico en la parte baja de la microcuenca**



Fuente: elaboración propia.

En la parte alta de microcuenca en la época seca mediante el índice de Shannon Wiener se obtuvo un rango ($H' = 1,26$), indicando que son de un resultado aguas medianamente contaminadas se observa en la tabla XXI, y los individuos recolectados fueron 174; en la parte baja se obtuvo un rango ($H' = 0,94$), indicando que son un resultado aguas fuertemente contaminadas, se observa en la tabla XXI, y los individuos colectados fue de 106 y se debe a la pérdida del recurso hídrico y por eso el decrecimiento entre las familias de macroinvertebrados recolectados.

Durante la época lluviosa de la parte alta de la microcuenca hay una baja no tan considerable obteniendo un rango ($H' = 1,06$), indicando que son también

aguas medianamente contaminadas, se observa en la tabla XXI, y los individuos recolectados fue de 208; en la parte baja se obtuvo un rango ($H'=0,93$), indicando un resultado aguas fuertemente contaminadas, se observa en la tabla XXI, y la cantidad de individuos recolectados fueron 113; hubo un total de 321 individuos recolectados este caso fue particular dado que en época lluviosa decrece la riqueza y abundancia con lo que fue al contrario hubo más individuos de una familia en específico en las cuales fueron Hydropsychidae.

La familia hydropsychidae tiene un comportamiento interesante dado en la vida acuática; las larvas viven en diversos ambientes acuáticos y constituyen refugios fijados al sustrato o casitas portátiles de una variedad de formas y materiales; con lo que la mayoría habitan ríos y quebradas de aguas limpias y bien oxigenadas, se alimentan de materia orgánica en descomposición por ejemplo hojarasca sumergida además esta familia son filtradores de materia orgánica fina en suspensión, construyen redes finas en la corriente para filtrar el agua, cumplen un rol importante en ríos intermedio en las cadenas tróficas, además han demostrado su sensibilidad a las alteraciones ambientales, en especial a la contaminación orgánica, lo que hace buenos indicadores de calidad de agua. En la parte alta de la microcuenca posee las características idóneas ver figura 23 para que esta familia pueda vivir cabe resaltar que la abundancia y riqueza disminuyó en el mes de diciembre fue afectada por la contaminación antropogénica provocada por los trabajos de arreglos de la carretera ver figura 22.

Figura 22. **Trabajos de arreglo de carretera en la parte alta de la microcuenca**



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Parte alta de la microcuenca río Pampumay**



Fuente: elaboración propia.

En cuanto los datos cálculos en los puntajes del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), en la parte alta de la microcuenca en época seca obtuvo un puntaje de 69,06 se clasifica en una categoría “admisible”; en la cual la calidad del agua es frecuentemente afectada, en época lluviosa tuvo incremento en el puntaje fue de 71,78 en lo que lo clasifica “intermedia”; en que la calidad del agua es ocasionalmente afectada.

En la parte baja de la microcuenca obtuvo un puntaje de 76,45 en que lo clasifica en “intermedia”, en la cual la calidad del agua es ocasionalmente afectada; en época lluviosa obtuvo un puntaje bajo de 67,84 en que lo clasifica “Admisible”, con lo que la calidad del agua es frecuentemente afectada esto se debe que en la parte baja drenan el río anteriormente dicho ver tabla XXII.

Figura 24. **Parte baja de la microcuenca**



Fuente: elaboración propia.

Al analizar individualmente el comportamiento de cada parámetro fisicoquímico contemplado por el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), se puede determinar cuales fue que tuvo una consecuencia en los resultados del valor promedio del índice.

En los valores de la parte alta de la microcuenca en época seca el valor promedio de la temperatura fue de 21,34 °C y en época lluviosa 21,40 °C, con lo cual se observó que los valores no variaron significativamente, por lo que no presentaron mayor influencia sobre el valor del índice simplificado de la calidad del agua. En la parte baja de la microcuenca en época seca fue de 24,56 °C y en época lluviosa 24,66 °C; las variaciones de la temperatura promedio en ambas épocas y en los puntos de monitoreo no fueron significativas ni afectaron el valor del índice.

En el parámetro de demanda química de oxígeno (DQO), en la parte alta de la microcuenca en época seca fue de 8,8 mg/l y en época lluviosa fue de 12,40 mg/l. En la parte baja de la microcuenca en época seca fue de 12,00 mg/l y en época lluviosa fue de 14,60 mg/l; ambas épocas y puntos de monitoreo se mantienen en valores similares por lo que representa un estado de “buena calidad”, con aguas superficiales con bajo contenido de materia biodegradable y no biodegradable.

Los sólidos suspendidos totales (SST), en la parte alta de la microcuenca en época seca obtuvo 43,90 mg/l y en época lluviosa 67,70 mg/l por lo que se encuentra en una clasificación de “buena calidad”, con aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales, favorece la conservación de comunidades acuáticas. La parte baja de la microcuenca en época seca fue de 102,40 mg/l y en época lluviosa fue de 38,0 mg/l en lo que se encuentra en una clasificación aceptable, con aguas

superficiales con indicio de contaminación, condición regular para peces y riego agrícola restringido.

En cuanto el oxígeno disuelto (OD), los datos no variaron significativamente en ambas épocas se mantuvo en los puntos de monitoreo. En época seca en la parte alta de la microcuenca fue de 6,60 mg/l y en época lluviosa 7,17 mg/l.; durante la época seca en la parte baja de la microcuenca fue de 6,30 mg/l y en época lluviosa fue de 6,46 mg/l, en los valores se mantuvieron al largo del estudio dando valores normales dentro de una clasificación (7,00 – 8,00 mg/l) considerados normales y con una buena reoxigenación del río.

La conductividad eléctrica (EC), se observó que se mantuvieron en resultados similares en las épocas del año, en época seca en la parte alta de la microcuenca fue de 183,78 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y en época lluviosa fue de 188,72 $\mu\text{s}/\text{cm}$, en la parte baja de la microcuenca en época seca fue de 179,44 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y en época lluviosa fue de 199,02 $\mu\text{s}/\text{cm}$; se encuentran en umbral de buena calidad dado que a partir de concentraciones 1 500 mg/l se notan los efectos sobre la biota fluvial.

Al realizar las comparaciones entre las correlaciones de tendencia de los valores promedio del índice de diversidad de Shannon Wiener y el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), tanto en la época seca con la lluviosa mantiene una tendencia polinómica, además se puede observar que se mantiene en los puntos de monitoreo.

El análisis estadístico indica que no existe una correlación proporcional entre el índice de diversidad de Shannon Wiener y el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA). El análisis estadístico se basó en el coeficiente de correlación, aceptando la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95 %.

Es posible deducir que la calidad de la microcuenca del río Pampumay es de buena calidad cabe resaltar en ambos puntos de monitoreo en tanto a macroinvertebrados como en los parámetros fisicoquímicos del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) y en ambas épocas del año.

6. LOGROS OBTENIDOS

- Se determinó que la microcuenca del río Pampumay no es un río intermitente como lo contempla la información oficial de los portales del MAGA y la Municipalidad de Villa Canales.
- La microcuenca del río Pampumay es un tributario que no ingresa con carga de contaminantes al Lago de Amatitlán.
- La calidad del agua de la microcuenca del río Pampumay los parámetros conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno están en los rangos dentro límites máximos permisibles y límites máximos admisibles dentro de la Norma Técnica Guatemalteca 29001 –Agua para consumo humano (agua potable)-; indicando que el agua del río es apta para consumo humano.
- Se encontró una gran variedad de familias con una clasificación de excelente a buena calidad, lo cual refleja una buena calidad de la microcuenca del río Pampumay.
- Se encontraron animales pulmonados entre cangrejos, peses y renacuajos.

CONCLUSIONES

1. Durante el comportamiento estacional de los índices de diversidad de Shannon Wiener y el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) en la época seca y lluviosa se comprobó que ambos registraron de acuerdo a sus clasificaciones que el río de la microcuenca Pampumay es de buena calidad durante todo el año tanto en la parte alta como en la baja.
2. Utilizando como descriptor cualitativo de los macroinvertebrados fue BMWP en que mantiene en una buena a excelente calidad de los individuos recolectados en los dos puntos de monitoreo. En cuanto a la riqueza y abundancia de las familias varió en el cambio de la estacionalidad de seca a lluviosa.
3. Estimando el índice de diversidad de Shannon Wiener en época seca en la parte alta fue medianamente contaminado y en la parte baja fue altamente contaminado estos se mantuvieron en época lluviosa.
4. Estimando el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA), tanto en época seca con lluviosa se mantuvieron en la clasificación en intermedia en la parte alta de la microcuenca y admisible en la parte baja de la microcuenca.
5. Entre las causas de variaciones estacionales del índice de diversidad de Shannon fueron la contaminación de desechos sólidos en la cual hubo bajas en las familias y a la cantidad dado que algunos son muy sensibles a cambios además en época seca hay disminuciones de los individuos

dado que baja caudal de la parte alta de la microcuenca. Con el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) fluctúa en dos clasificaciones dado que la explotación del recurso hídrico es evidente en las dos épocas del año, aunque esta actividad antropogénica está ligada más en la parte baja de la microcuenca del río Pampumay.

6. Se realizaron mapas con sectorización de la parte alta y baja de la microcuenca del río Pampumay, en la cual se utilizaron la clasificación mediante un código de colores propuestos para cada índice con lo que facilita la visualización de la calidad del agua en función de la estacionalidad.

RECOMENDACIONES

1. Considerar en la creación de una ley para la protección de cuerpos de agua en los que son de nacimientos y no hay incidencia de contaminación por agua residuales crudas.
2. Desarrollar un índice de identificación de macroinvertebrados nativos de Guatemala, utilizando las condiciones climáticas y su respectiva tolerabilidad a la contaminación, proponerlo como un índice oficial de calidad del agua en Guatemala.
3. Promover el uso del biomonitoreo en ambientes acuáticos para entender mejor la integridad de los ecosistemas y la sensibilidad de distintas especies ante la presencia de contaminantes de origen orgánico e inorgánico.
4. Impulsar el estudio de los ambientes acuáticos y el recurso del agua dado que el ecosistema está más en riesgo debido al desarrollo urbano en lo que afecta a la pérdida de calidad y cantidad de agua.
5. Incentivar a las comunidades aledañas al manejo de desechos sólidos y la importancia del cuidado del cuerpo de agua.

BIBLIOGRAFÍA









1. ACUÑA CAMPOS, Esteban Stuardo. *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*. Trabajo de graduación de Ing. Ambiental. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 113 p.
2. DIOMEDES, Quintero; AIELLO, Anette. *Insects of Panama and Mesoamerica*. Estados Unidos: Universitaria Oxford, 1992. ISBN 0-19-854018-3. 720 p.
3. GÓNZALEZ, Nashieli. *La cuenca hidrográfica unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales*. [en línea]. <http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/cuenca_hidrografica.pdf>. [Consulta: 3 de enero de 2020].
4. GUTIÉRREZ, Pablo; SPRINGER, Monika. *Macroinvertebrados acuáticos*. Conferencia llevada a cabo en el seminario, Acuáticos como indicadores de la calidad de agua superficiales. Guatemala: CONCYT, CEMA, AMSA, 2010. 12 p.
5. _____. *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua superficiales*. Conferencia llevada a cabo en el seminario Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua superficiales. Guatemala: CONCYT, CEMA, AMSA, 2010. 10 p.

6. _____. *Métodos de muestreo*. Conferencia llevada a cabo en el seminario, Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua superficiales. Guatemala: CONCYT, CEMA, AMSA, 2010. 11 p.
7. MAFLA, Maribel. *Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano Talamanca-Costa Rica*. Turrialba Costa Rica: CATIE, 2005. 90 p.
8. Ministerio de Ambiente y Recursos Hídricos, MARN. *Manual de Educación ambiental sobre el recurso hídrico en Guatemala*. Guatemala: JICA, 2018. 17 p.
9. ROLDÁN PÉREZ, Gabriel. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Bogotá, Colombia: Presencia Ltda, 1988. 217 p.
10. _____. *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua*. Colombia: Imprenta Nacional de Colombia, 2012. 50 p.
11. SPRINGER, Monika. *Revista de Biología Tropical. Capítulo 7 Trichoptera*. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Universidad de Costa Rica, 2010. 151 p.

APÉNDICES









Apéndice 1. Tablas de macroinvertebrados de la época seca recolectados

- Familias de macroinvertebrados encontrados en el primer muestreo en época seca mes marzo.

Ubicación	Orden	Familia	Imagen	Calidad
Alta	<i>Coleoptera</i>	<i>Elmidae</i>		Buena
	<i>Trichoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>		Buena
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>		Buena
Baja	<i>Diptera</i>	<i>Simuliidae</i>		Regular
	<i>Coleoptera</i>	<i>Dysticidae</i>		Regular
	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>		Pésima
	<i>Diptera</i>	<i>Tabanidae</i>		Regular
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>		Buena






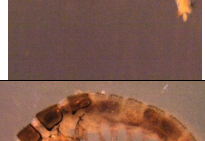

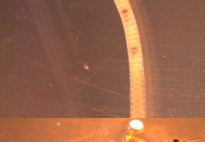
Continuación del apéndice 1.

- Familias de macroinvertebrados encontrados en el segundo muestreo en época seca mes abril.

Ubicación	Orden	Familia	Imagen	Calidad
Alta	<i>Diptera</i>	<i>Simuliidae</i>		Regular
	<i>Coleoptera</i>	<i>Elmidae</i>		Buena
	<i>Trichoptera</i>	<i>Hydrophilidae</i>		Mala
	<i>Trychoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>		Buena
	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>		Pésima
	<i>Diptera</i>	<i>Muscidae</i>		Mala
Baja	<i>Basommatophora</i>	<i>Physidae</i>		Mala
	<i>Coleoptera</i>	<i>Empidae</i>		Mala







Continuación del apéndice 1.

- Familias de macroinvertebrados encontrados en el tercero muestreo en época seca mes octubre.






Ubicación	Orden	Familia	Imagen	Calidad
Alta	<i>Trychoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>		Buena
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>		Regular
	<i>Coleoptera</i>	<i>Elmidae</i>		Buena
Baja	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>		Regular
	<i>Dipeta</i>	<i>Chironomidae</i>		Pésima
	<i>Trychoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>		Buena
	<i>Tubificida</i>	<i>Tubificidae</i>		Pésima
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Leptohephyidae</i>		Excelente

Continuación del apéndice 1.

- Familias de macroinvertebrados encontrados en el segundo muestreo en época seca mes noviembre.







Ubicación	Orden	Familia	Imagen	Calidad
Alta	<i>Trichoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>		Buena
	<i>Coleoptera</i>	<i>Ptilodactylidae</i>		Excelente
	<i>Diptera</i>	<i>Simuliidae</i>		Regular
	<i>Coleoptera</i>	<i>Elmidae</i>		Buena
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>		Regular
Baja		<i>Veliidae</i>		Regular

Continuación del apéndice 1.

	<i>Diptera</i>	<i>Simuliidae</i>		Regular
	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>		Pésima
	<i>Haplotaaxida</i>	<i>Tubificidae</i>		Pésima
	<i>Coleoptera</i>	<i>Dysticidae</i>		Regular
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>		Regular

Continuación del apéndice 1.







- Familias de macroinvertebrados encontrados en el segundo muestreo en época seca mes diciembre.

Ubicación	Orden	Familia	Imagen	Calidad
Alta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>		Regular
	<i>Trichoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>		Buena
	<i>Diptera</i>	<i>Simuliidae</i>		Regular
Baja	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>		Pésima
	<i>Hemiptera</i>	<i>Belostomidae</i>		Mala
	<i>Haplotaaxida</i>	<i>Tubificidae</i>		Pésima

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Tablas de macroinvertebrados de la época lluviosa recolectados**

- Familias de macroinvertebrados encontrados en el primer muestreo en época lluviosa mes agosto.

Ubicación	Orden	Familia	Imagen	Calidad
Alta	<i>Coleóptera</i>	<i>Hydraenidae</i>		Buena
	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>		Regular
	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>		Pésima
	<i>Coleoptera</i>	<i>Elmidae</i>		Buena
Baja	<i>Haplotaaxida</i>	<i>Tubificidae</i>		Pésima
	<i>Coleoptera</i>	<i>Dysticidae</i>		Regular

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Tablas de datos calculados para ISQA en época seca**

- Cálculo de ISQA para parte alta, primer monitoreo mes de marzo

INDICE ISQA		
ISQA	83,41	
E	0,98	Temperatura
A	24,00	DQO
B	23,73	SST
C	16,88	OD
D	20,51	Conductividad

- Cálculo de ISQA para parte baja, primer muestreo mes de marzo

INDICE ISQA		
ISQA	74,00	
E	2,20	Temperatura
A	19,00	DQO
B	19,62	SST
C	15,12	OD
D	20,26	Conductividad

- Cálculo de ISQA para parte alta, segundo monitoreo mes de abril

INDICE ISQA		
ISQA	55,77	
E	0,98	Temperatura
A	20,00	DQO
B	0,00	SST
C	16,40	OD
D	20,51	Conductividad

Continuación del apéndice 3.

- Cálculo de ISQA para parte baja, segundo monitoreo mes de abril

INDICE ISQA		
ISQA	77,18	
E	0,96	Temperatura
A	20,00	DQO
B	23,35	SST
C	16,23	OD
D	20,50	Conductividad

- Cálculo de ISQA para parte alta, tercer monitoreo mes de octubre

INDICE ISQA		
ISQA	74.92	
E	0,98	Temperatura
A	16,10	DQO
B	22,90	SST
C	17,25	OD
D	20,50	Conductividad

- Cálculo de ISQA para parte baja, tercer monitoreo mes de octubre

INDICE ISQA		
ISQA	64,76	
E	0,92	Temperatura
A	12,95	DQO
B	18,40	SST
C	18,70	OD
D	20,54	Conductividad

Continuación del apéndice 3.

- Cálculo del ISQA para parte alta, cuarto monitoreo mes de noviembre

INDICE ISQA		
ISQA	76,39	
E	0,99	Temperatura
A	21,00	DQO
B	20,50	SST
C	15,20	OD
D	20,46	Conductividad

- Cálculo del ISQA para parte baja, cuarto monitoreo mes de noviembre

INDICE ISQA		
ISQA	79,86	
E	0,95	Temperatura
A	21,00	DQO
B	24,40	SST
C	17,90	OD
D	20,77	Conductividad

- Cálculo del ISQA para parte alta, quinto monitoreo mes de diciembre

INDICE ISQA		
ISQA	84,90	
E	0,99	Temperatura
A	24,00	DQO
B	24,10	SST
C	16,78	OD
D	20,88	Conductividad

Continuación del apéndice 3.

- Cálculo del ISQA para parte baja, quinto monitoreo mes de diciembre

INDICE ISQA		
ISQA	52,15	
E	0,93	Temperatura
A	22,00	DQO
B	0,00	SST
C	12,40	OD
D	21,67	Conductividad

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Tablas de datos calculados para ISQA en época lluviosa**

- Cálculo del ISQA para parte alta, primer monitoreo mes de mayo

INDICE ISQA		
ISQA	74,34	
E	0,98	Temperatura
A	15,75	DQO
B	24,02	SST
C	15,93	OD
D	20,55	Conductividad

- Cálculo del ISQA para parte baja, primer monitoreo mes de mayo

INDICE ISQA		
ISQA	52,63	
E	0,96	Temperatura
A	11,55	DQO
B	9,23	SST
C	13,50	OD
D	20,33	Conductividad

Continuación del apéndice 4.

- Cálculo del ISQA para parte alta, segundo monitoreo mes de junio

INDICE ISQA		
ISQA	77,34	
E	0,40	Temperatura
A	14,70	DQO
B	24,33	SST
C	17,43	OD
D	20,89	Conductividad

- Cálculo del ISQA para parte baja, segundo monitoreo mes de junio

INDICE ISQA		
ISQA	80,87	
E	0,96	Temperatura
A	13,65	DQO
B	34,10	SST
C	15,88	OD
D	20,50	Conductividad

- Cálculo del ISQA para parte alta, tercer monitoreo mes de julio

INDICE ISQA		
ISQA	83,89	
E	0,98	Temperatura
A	18,90	DQO
B	24,70	SST
C	21,78	OD
D	20,67	Conductividad

Continuación del apéndice 4.

- Cálculo del ISQA para parte baja, tercer monitoreo mes de julio

INDICE ISQA		
ISQA	72,03	
E	0,92	Temperatura
A	18,90	DQO
B	23,05	SST
C	15,45	OD
D	20,68	Conductividad

- Cálculo del ISQA para parte alta, cuarto monitoreo mes de agosto

INDICE ISQA		
ISQA	65,44	
E	0,98	Temperatura
A	24,00	DQO
B	6,01	SST
C	17,23	OD
D	19,58	Conductividad

- Cálculo del ISQA para parte baja, cuarto monitoreo mes de agosto

INDICE ISQA		
ISQA	72,44	
E	0,90	Temperatura
A	24,00	DQO
B	20,05	SST
C	17,23	OD
D	19,22	Conductividad

Continuación del apéndice 4.

- Cálculo del ISQA para parte alta, quinto monitoreo mes de septiembre

INDICE ISQA		
ISQA	57,79	
E	0,99	Temperatura
A	15,05	DQO
B	5,73	SST
C	17,25	OD
D	20,34	Conductividad

- Cálculo del ISQA para parte baja, quinto monitoreo mes de septiembre

INDICE ISQA		
ISQA	61,87	
E	0,97	Temperatura
A	4,55	DQO
B	20,95	SST
C	18,70	OD
D	19,58	Conductividad

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Tablas de datos para Shannon Wiener en época seca**

- Datos originales para la parte alta, primer monitoreo mes marzo

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Arthropoda	Insecta	<i>Coleóptera</i>	<i>Elmidae</i>	9
Arthropoda	Insecta	<i>Trychoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>	3
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	3

Continuación del apéndice 5.

- Datos originales para la parte baja, primer monitoreo mes marzo

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Simuliidae</i>	36
Arthropoda	Insecta	<i>Coleóptera</i>	<i>Dytiscidae</i>	3
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	4
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Tabanidae</i>	1
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	9

- Datos originales para la parte alta, segundo monitoreo mes abril

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Simuliidae</i>	10
Arthropoda	Insecta	<i>Coleóptera</i>	<i>Elmidae</i>	10
Arthropoda	Insecta	<i>Trychoptera</i>	<i>Hydrophilidae</i>	1
Arthropoda	Insecta	<i>Trychoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>	10
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	1
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Muscidae</i>	4

- Datos originales para la parte baja, segundo monitoreo mes abril

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Mollusca	Gasteropodo	<i>Basommatophora</i>	<i>Physidae</i>	3
Arthropoda	Insecta	<i>Coleoptera</i>	<i>Empididae</i>	1

- Datos originales para la parte alta, tercer monitoreo mes octubre

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Arthropoda	Insecta	<i>Trychoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>	58
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	27
Arthropoda	Insecta	<i>Coleóptera</i>	<i>Elmidae</i>	8

Continuación del apéndice 5.

- Datos originales para la parte baja, tercer monitoreo mes octubre

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	3
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	6
Arthropoda	Insecta	<i>Trychoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>	1
Annelida	Clitellata	<i>Tubificida</i>	<i>Tubificidae</i>	5
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Leptohiphidae</i>	1

- Datos originales para la parte alta, cuarto monitoreo mes noviembre

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Arthropoda	Insecta	<i>Trychoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>	2
Arthropoda	Insecta	<i>Coleóptera</i>	<i>Ptilodactylidae</i>	1
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Simuliidae</i>	5
Arthropoda	Insecta	<i>Coleóptera</i>	<i>Elmidae</i>	1
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	3

- Datos originales para la parte baja, cuarto monitoreo mes noviembre

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Arthropoda	Insecta	<i>Hemíptera</i>	<i>Veliidae</i>	2
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Simuliidae</i>	2
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Chironimidae</i>	2
Annelida	Clitellata	<i>Haplotaxida</i>	<i>Tubificidae</i>	2
Arthropoda	Insecta	<i>Coleóptera</i>	<i>Dytiscidae</i>	2
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	18

- Datos originales para la parte alta, quinto monitoreo mes diciembre

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	9
Arthropoda	Insecta	<i>Trychoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>	5
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Simuliidae</i>	4

Continuación del apéndice 5.

- Datos originales para la parte baja, quinto monitoreo mes diciembre

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2
Arthropoda	Insecta	<i>Hemíptera</i>	<i>Belostomatidae</i>	1
Annelida	Clitellata	<i>Haplotaxida</i>	<i>Tubicidae</i>	2

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Tablas de datos para Shannon Wiener en época lluviosa**

- Datos originales para la parte alta, primer monitoreo mes mayo

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Arthropoda	Insecta	<i>Coleóptera</i>	<i>Hydraenidae</i>	24
Arthropoda	Insecta	<i>Hemíptera</i>	<i>Veliidae</i>	1
Arthropoda	Insecta	<i>Hemíptera</i>	<i>Mesoveliidae</i>	1
Arthropoda	Insecta	<i>Trychoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>	13
Arthropoda	Insecta	<i>Coleóptera</i>	<i>Elmidae</i>	2
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	3
Arthropoda	Insecta	<i>Plecóptera</i>	<i>Perlidae</i>	1
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Leptophlebiae</i>	1

- Datos originales para la parte baja, primer monitoreo mes mayo

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Mollusca	Gasteropodo	<i>Basommatophora</i>	<i>Physidae</i>	18

Continuación del apéndice 6.

- Datos originales para la parte alta, segundo monitoreo mes junio

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Arthropoda	Insecta	<i>Trychoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>	17
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	11
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	4
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Simuliidae</i>	1

- Datos originales para la parte baja, segundo monitoreo mes junio

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Arthropoda	Insecta	<i>Odonata</i>	<i>Caenagrionidae</i>	22
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	6
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Simuliidae</i>	2
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	1
Arthropoda	Insecta	<i>Mollusca</i>	<i>Physidae</i>	1

- Datos originales para la parte alta, tercer monitoreo mes julio

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Arthropoda	Insecta	<i>Trychoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>	5
Arthropoda	Insecta	<i>Odonata</i>	<i>Calopterygidae</i>	1
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	5
Arthropoda	Insecta	<i>Coleóptera</i>	<i>Ptilodactylidae</i>	1

- Datos originales para la parte baja, tercer monitoreo mes julio

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Mollusca	Gasteropodo	<i>Basommatophora</i>	<i>Physidae</i>	13
Arthropoda	Insecta	<i>Odonata</i>	<i>Calopterygidae</i>	10
Arthropoda	Insecta	<i>Odonata</i>	<i>Coenagrionidae</i>	12
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Leptohiphidae</i>	1
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	1
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	6

Continuación del apéndice 6.

- Datos originales para la parte alta, cuarto monitoreo mes agosto

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Arthropoda	Insecta	<i>Trychoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>	21
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	10
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	1
Arthropoda	Insecta	<i>Coleóptera</i>	<i>Elmidae</i>	3

- Datos originales para la parte baja, cuarto monitoreo mes agosto

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Annelida	Clitellata	<i>Tubificida</i>	<i>Tubificidae</i>	1
Arthropoda	Insecta	<i>Coleóptera</i>	<i>Dystiscidae</i>	1

- Datos originales para la parte alta, quinto monitoreo mes septiembre

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Arthropoda	Insecta	<i>Odonata</i>	<i>Calopterygidae</i>	1
Arthropoda	Insecta	<i>Trychoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>	60
Arthropoda	Insecta	<i>Coleóptera</i>	<i>Elmidae</i>	18
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	2
Arthropoda	Insecta	<i>Coleóptera</i>	<i>Dysticidae</i>	1

- Datos originales para la parte baja, quinto monitoreo mes septiembre

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Abundancia
Arthropoda	Insecta	<i>Hemíptera</i>	<i>Mesovellide</i>	1
Annelida	Clitellata	<i>Tubificida</i>	<i>Tubificidae</i>	7
Arthropoda	Insecta	<i>Trychoptera</i>	<i>Hydropsychidae</i>	2
Arthropoda	Insecta	<i>Odonata</i>	<i>Caenagrionidae</i>	1
Arthropoda	Insecta	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	2
Arthropoda	Insecta	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	5

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Puntos de monitoreo de la microcuenca del río Pampumay**

- Parte alta de la microcuenca, monitoreo en época seca



- Parte baja de la microcuenca, monitoreo en época seca



Continuación del apéndice 7.

- Parte alta de la microcuenca, monitoreo en época lluviosa



- Parte baja de la microcuenca, monitoreo en época lluviosa



Continuación del apéndice 7.

- Parte alta de microcuenca, toma de muestras con la red tipo D, época seca.



- Parte alta de microcuenca, toma de muestras fisicoquímicas, época seca



Continuación del apéndice 7.

- Toma de muestras con la red tipo D, época lluviosa



- Toma de muestras fisicoquímica, época lluviosa



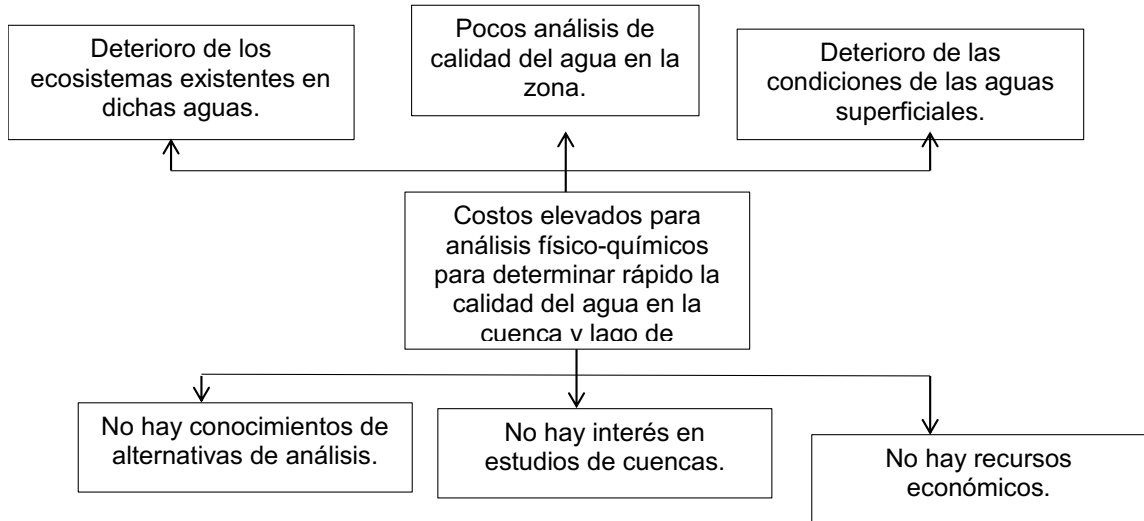
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Tabla de requisitos académicos**

Carrera	Campo de conocimiento	Área	Curso	Temática por resolver
Ingeniería Ambiental	Ingeniería y tecnología	Área de Aguas	Hidrología	Delimitación de una cuenca. El ciclo hidrológico. Identificación de ríos principales y secundarios.
		Dibujo y topografía	Manejo de Cuenca Hidrográficas	Inspección de la cuenca a trabajar. Identificación de la cobertura de la cuenca.
		Área Sanitaria	Geología	Identificación tipos de suelos.
		Área de Dibujo y Topografía	Taller sistema de información geográfica	Delimitación mediante Sistema de Información Geográfica -SIG-. Elaboración de mapas.
		Área Básica	Estadística I	Estadística descriptiva
			Estadística II	Pruebas de hipótesis
			Ecología	Ciclos ecológicos. Ecosistemas. Contaminación.
		Área de Química Industrial	Microbiología	Uso del Estereoscopio.
			Química Ambiental	Contaminación ambiental.
			Calidad del agua	Índices de calidad del agua. Bioindicadores. Estrategias de monitoreo.
			Biología	Seres vivos y su ciclo de vida.
		Área Complementaria	Climatología	Relación de variables climáticas con las épocas seca y lluviosa.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

