



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

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, MEDIANTE ÍNDICES  
BIÓTICOS Y FÍSICOQUÍMICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO AGUA TIBIA, ZONA 24**

**Odalis Ivette López Salazar**

Asesorada por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta

Guatemala, septiembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, MEDIANTE ÍNDICES  
BIÓTICOS Y FÍSICOQUÍMICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO AGUA TIBIA, ZONA 24**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ODALIS IVETTE LÓPEZ SALAZAR**

ASESORADA POR EL ING. MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA AMBIENTAL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdoba
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma de Martini
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, MEDIANTE ÍNDICES BIÓTICOS Y FÍSICOQUÍMICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO AGUA TIBIA, ZONA 24**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 24 de marzo de 2015.

**Odalis Ivette López Salazar**

**MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA**  
**INGENIERO CIVIL - HIDROGEOLOGO**

Guatemala,  
12 de julio de 2016


Ingeniero  
Carlos Salvador Wong  
Director de la Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ing. Wong:

Por este medio remito la presente para hacer de su conocimiento que he revisado, como asesor, el Informe Final del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) titulado "DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, MEDIANTE ÍNDICES BIÓTICOS Y FÍSICOQUÍMICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO AGUA TIBIA, ZONA 24", proyecto que es realizado por la estudiante universitaria ODALIS IVETTE LÓPEZ SALAZAR, carné No. 200915271, para lo cual el suscrito aprueba el contenido del mismo, por lo que agradecería realizar los trámites correspondientes para su presentación y aprobación final.

Sin otro particular quedo de usted.

Atentamente.



Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta  
Ingeniero Civil  
Colegiado 2473

Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta  
Ingeniero Civil - Hidrogeólogo  
Colegiado No. 2473





Guatemala, 20 de julio de 2016.  
Ref.EPS.D.268.07.16.

Ing. Carlos Wong  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente

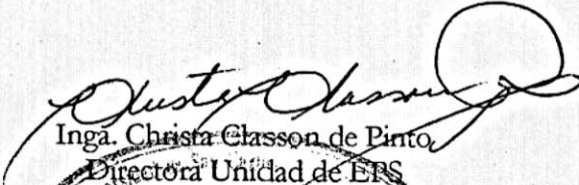
Estimado Ingeniero Wong:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, MEDIANTE ÍNDICES BIÓTICOS Y FISICOQUÍMICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO AGUA TIBIA, ZONA 24"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Odalis Ivette López Salazar**, quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ingeniero Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

  
Inga. Christa Classon de Pinto  
Directora Unidad de EPS

CCdP/ra



Guatemala, 02 de septiembre 2016.  
Ref. EIQ.TG-IF.047.2016.

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

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **005-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN  
-Modalidad Ejercicio Profesional Supervisado-**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Odalís Ivette López Salazar**.  
Identificada con número de carné: **2009-15271**.  
Previo a optar al título de **INGENIERA AMBIENTAL**.

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

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, MEDIANTE ÍNDICES BIÓTICOS Y FÍSICOQUÍMICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO AGUA TIBIA, ZONA 24**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Civil: **Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta**.

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

"ID Y ENSEÑADA A TODOS"

Licda. Ingrid Lorena Benitez Pacheco  
COORDINADORA DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo







Ref.EIQ.TG.051.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado (**EPS final**) de la estudiante **ODALIS IVETTE LÓPEZ SALAZAR** titulado: **"DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, MEDIANTE ÍNDICES BIÓTICOS Y FISICOQUÍMICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO AGUA TIBIA, ZONA 24 "** Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Carlos Salvador Wong Dav  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, septiembre de 2016

Cc: Archivo  
CSWD/ale



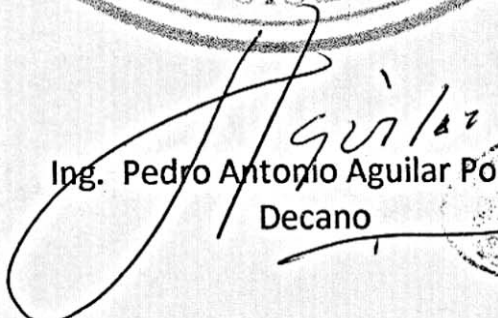




DTG. 439.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, MEDIANTE ÍNDICES BIÓTICOS Y FÍSICOQUÍMICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO AGUA TIBIA, ZONA 24**, presentado por la estudiante universitaria: **Odalis Ivette López Salazar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, septiembre de 2016

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios y la Virgen</b>	Por sus bendiciones en mi vida.
<b>Mis padres</b>	Virginio Víctor López Mazariegos y Dolores Salazar de López. Su amor, fuerza y lucha en la vida serán siempre mi inspiración.
<b>Mis hermanos y colegas</b>	Jacqueline Edilma López Salazar y Keny Abdón López Salazar. Por guiar mis pasos en la carrera profesional, su apoyo y amor.
<b>Mi cuñado y sobrino</b>	Jorge Mazariegos y Andrew Mazariegos, por formar parte importante en mi vida.
<b>Mis abuelos</b>	Virginia Trujillo Franco, Juan Antonio Salazar Cardona (Q.E.P.D), Elsita López (Q.E.P.D), Victoriano López Alvarado (Q.E.P.D).
<b>Mis primas y primos</b>	Por compartir en las etapas de mi vida, especialmente a quienes crecieron conmigo.
<b>Mis tías y tíos</b>	Por su cariño, aprecio y consejos en cada paso de mi vida.
<b>Mis amigos</b>	Por su apoyo y amistad durante tantos años.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser el alma máter que vela por el crecimiento profesional de todas las ramas de estudio de las ciencias.
<b>La Facultad de Ingeniería</b>	Por comprometerse con el profesionalismo de las carreras que alberga.
<b>Mis amigos de la Escuela de Ingeniería Química</b>	Por ser una importante influencia en mi carrera, por siempre enseñar con el ejemplo y nunca dejar que me rindiera ante las adversidades de la carrera, entre otras cosas.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta, por transmitir sus conocimientos profesionales y asesorarme en cada etapa.
<b>Mi asesor técnico</b>	Inga. Jeanny Beatriz Ramírez Sosa, por guiarme al realizar el ejercicio profesional supervisado, por su amistad y consejos brindados.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Contaminación del agua en Guatemala .....	5
2.1.1. Origen de la contaminación de las aguas.....	5
2.1.1.1. Naturales .....	6
2.1.1.2. De origen humano .....	6
2.1.2. Substancias contaminantes del agua .....	12
2.2. Evaluación biológica de la calidad de las aguas.....	14
2.2.1. Macroinvertebrados acuáticos.....	15
2.2.1.1. El monitoreo con	
macroinvertebrados acuáticos.....	15
2.2.2. Hábitats de los macroinvertebrados acuáticos .....	16
2.3. Bioindicación y biomonitoreo .....	17
2.3.1. Tipos de bioindicadores.....	18
2.3.2. Biomonitoreo.....	20
2.4. Índices biológicos utilizados en la calidad del agua.....	20
2.4.1. Índices de diversidad .....	21

2.4.1.1.	Índice de Shannon-Wiever .....	21
2.4.1.2.	Índice de Simpson-Gini .....	22
2.4.1.3.	Índice de Berger-Parker .....	22
2.4.1.4.	Índice de diversidad de Macintosh .....	22
2.4.2.	Índices bióticos .....	22
2.4.2.1.	Índice biótico de Trent TBI.....	23
2.4.2.2.	Índice Chandler .....	23
2.4.2.3.	Índice biótico de familia IBF.....	23
2.4.2.4.	Índice EPT.....	24
2.4.2.5.	El Índice biótico BMWP ( <i>Biological Monitoring Working Party</i> ).....	25
2.4.2.5.1.	Algunas modificaciones del índice BMWP .....	25
2.4.2.5.2.	El índice BMWP-CR.....	26
2.4.3.	Índices fisicoquímicos de calidad de las aguas .....	30
2.4.3.1.	Índice de calidad general ICG .....	31
2.4.3.2.	Índice simplificado de la calidad del agua ISCA.....	33
2.4.3.2.1.	Método para la determinación del ISCA.....	33
2.4.3.2.2.	Interpretación del ISCA.....	34
2.4.3.3.	Índice automático de calidad de agua (IAQA) .....	38
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	39
3.1.	Variables .....	39

3.2.	Delimitación del campo de estudio .....	40
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	41
3.4.	Recursos materiales disponibles .....	41
3.5.	Técnica cualitativa .....	43
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	44
3.6.1.	Recolección de información.....	44
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información .....	45
4.	RESULTADOS .....	57
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	67
6.	LOGROS OBTENIDOS .....	73
	CONCLUSIONES .....	75
	RECOMENDACIONES.....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	APÉNDICES .....	83





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Delimitación de la microcuenca del río Agua Tibia y localización de puntos de muestreo.....	40
2.	Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia. Índice BMWP-CR. Época lluviosa .....	58
3.	Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia. Por índice BMWP-CR. Época seca.....	59
4.	Situación época lluviosa parte alta. Comparación gráfica de índices .....	61
5.	Situación época lluviosa parte baja. Comparación gráfica de índices....	61
6.	Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia. Época lluviosa.Índice ISCA. ....	63
7.	Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia. Época seca. Índice ISCA.....	64
8.	Situación época seca parte alta. Comparación gráfica de índices .....	65
9.	Situación época seca parte baja. Comparación gráfica de índices .....	65

## TABLAS

I.	Alteraciones físicas del agua .....	7
II.	Alteraciones químicas del agua .....	9
III.	Alteraciones biológicas del agua .....	12
IV.	Niveles de calidad del agua según índice EPT .....	24
V.	Familias de macroinvertebrados para el índice BMWP-CR .....	27
VI.	Niveles de calidad del agua según índice BMWP-CR .....	30
VII.	Clasificación de las aguas en función de su ICG .....	32
VIII.	Significado de los valores del ISCA .....	35
IX.	Representación de los grupos de valores según ISCA.....	36
X.	Variables a desarrollar en la investigación.....	39
XI.	Coordenadas UTM de los puntos de muestreo .....	40
XII.	Parámetros In-situ época lluviosa .....	45
XIII.	Parámetros In-situ época seca .....	45
XIV.	Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 1 de la época lluviosa.	46
XV.	Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 2 de la época lluviosa.	46
XVI.	Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 3 de la época lluviosa.	47
XVII.	Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 4 de la época lluviosa.	47
XVIII.	Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 5 de la época lluviosa.	47
XIX.	Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 1 de la época lluviosa	48
XX.	Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 2 de la época lluviosa	48
XXI.	Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 3 de la época lluviosa	49
XXII.	Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 4 de la época lluviosa	49
XXIII.	Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 5 de la época lluviosa	50
XXIV.	Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 1 de la época seca .....	50
XXV.	Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 2 de la época seca .....	51
XXVI.	Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 3 de la época seca .....	51



XXVII.	Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 4 de la época seca.....	52
XXVIII.	Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 5 de la época seca.....	52
XXIX.	Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 1 de la época seca....	53
XXX.	Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 2 de la época seca....	53
XXXI.	Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 3 de la época seca....	54
XXXII.	Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 4 de la época seca....	54
XXXIII.	Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 5 de la época seca....	55
XXXIV.	Parámetros fisicoquímicos analizados. Parte alta en época lluviosa ...	55
XXXV.	Parámetros fisicoquímicos analizados. Parte baja en época lluviosa ..	55
XXXVI.	Parámetros fisicoquímicos analizados. Parte alta en época seca.....	56
XXXVII.	Parámetros fisicoquímicos analizados. Parte baja en época seca.....	56
XXXVIII.	Calidad del agua. Índice BMWP-CR .....	57
XXXIX.	Calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia. Índice ISCA en la época lluviosa, parte alta.....	60
XL.	Calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia. Índice ISCA en la época lluviosa, parte baja.....	60
XLI.	Calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia. Índice ISCA en la época seca, parte alta .....	62
XLII.	Calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia. Índice ISCA en la época seca, parte baja .....	62



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
%	Porcentaje
<	menor que
>	mayor que
°C	grados Celsius
μm	Micrómetro
μS/cm	micro siemens por centímetro
m <sup>2</sup>	metro cuadrado
mg/L	miligramos por litro





## GLOSARIO

<b><i>BMWP</i></b>	<i>Biological Monitoring Working Party</i> , índice biótico que mide la calidad del agua utilizando macroinvertebrados bentónicos.
<b>Bentónicos</b>	Que vive en los bentos o lechos de los ríos, fondos marinos, lacustres o fluviales.
<b>Biocenosis</b>	Es una comunidad o un conjunto de poblaciones de distintas especies, las cuales habitan en un lugar geográfico determinado y están influenciados por factores físicos como luz, humedad, temperatura, etc.
<b>Biodiversidad</b>	Es la cantidad, variedad y variabilidad de los organismos vivos.
<b>Bioindicador</b>	Organismos o comunidades en los que su existencia, sus características estructurales, su funcionamiento y sus reacciones dependen del medio en que se desarrollan.
<b>Biomonitor</b>	Son especies que indican la presencia de contaminantes o perturbaciones de forma cualitativa y cuantitativa.

<b>Biomonitoreo</b>	Consiste en el uso regular y sistemático de organismos vivos para monitorizar o determinar la calidad ambiental.
<b><i>BMWP-CR</i></b>	Siglas del índice biótico adaptado para Costa Rica.
<b>Conductividad eléctrica</b>	Variable que depende de la cantidad de sales disueltas presentes en un líquido, es inversamente proporcional a la resistividad del mismo.
<b>Contaminación</b>	Alteración nociva del estado natural de un medio como consecuencia de la introducción de un agente totalmente ajeno a ese medio, el que causa inestabilidad, desorden, daño o malestar en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo.
<b>Cuenca hidrográfica</b>	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.
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno. Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico.
<b>Ecosistema</b>	Es el complejo sistema de comunidades de seres vivos y el medio inerte que les rodea y sus interacciones como unidad ecológica.

<b>Eutrofización</b>	Proceso provocado por un exceso de nutrientes principalmente de nitrógeno y fósforo en el agua.
<b>ISCA</b>	Índice simplificado de calidad del agua. Permite asignar un valor a la calidad del agua utilizando 5 parámetros fisicoquímicos: temperatura, oxígeno disuelto, DQO, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales.
<b>Macroinvertebrados</b>	Incluye a aquellos animales invertebrados que por su tamaño relativamente grande son retenidos por redes de luz de malla de entre 250-300µm.
<b>Monitoreo</b>	Es la observación del curso de uno o más parámetros para detectar eventuales cambios.
<b>Oxígeno disuelto</b>	Es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de contaminación en el agua. Un nivel alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad.
<b>SST</b>	Sólidos suspendidos totales. Es el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual.
<b>Taxón</b>	Es un grupo de organismos emparentados que han sido agrupados debido a sus similitudes físicas o genéticas.





## RESUMEN

El aumento de la contaminación hídrica en la ciudad de Guatemala ha dado como resultado la búsqueda de alternativas para el conocimiento de las condiciones ambientales del recurso hídrico. Dentro de los planes de acción del Cinturón Ecológico Metropolitano de la Ciudad de Guatemala administrado por la Municipalidad de Guatemala, se monitorean las diferentes microcuencas del municipio de Guatemala.

El monitoreo de las aguas superficiales se ha establecido a partir de la implementación de índices bióticos e índices fisicoquímicos para los cuales se propuso la ejecución del índice *Biological Monitoring Working Party BMWP-CR* adecuado para Costa Rica como el índice biótico, que utiliza la ponderación con base en la presencia de familias de macroinvertebrados acuáticos, listados en el índice como base de su análisis; y como índice fisicoquímico el índice simplificado de calidad del agua (ISCA), el cual agrupa 5 parámetros fisicoquímicos que determinan un valor adimensional en representación de la calidad del agua.

Los índices trabajan cada uno con sus propios parámetros y escalas de ponderación de la calidad del agua desde muy mala calidad hasta excelente calidad.

Al finalizar la investigación se representará la calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, localizado en la zona 24 de la ciudad de Guatemala, en cada punto de muestreo en la parte alta y baja respectivamente, para conocer el estado de la microcuenca y establecer la línea base de posteriores investigaciones.



## OBJETIVOS

### General

- Determinar la calidad ambiental del agua mediante índices bióticos y fisicoquímicos en la microcuenca del río Agua Tibia, zona 24, ciudad capital.

### Específicos

- Ponderar la calidad del agua del río Agua Tibia a partir del índice *Biological Monitoring Working Party* adecuado para Costa Rica BMWP-CR durante la época seca y lluviosa.
- Valorar numéricamente la calidad del agua del río Agua Tibia a partir del índice simplificado de calidad del agua ISCA en la época seca y lluviosa.
- Realizar una comparación de resultados sobre la calidad del agua, entre la valoración por el índice biótico BMWP-CR y el índice fisicoquímico ISCA.
- Alimentar la base de datos de la Municipalidad de Guatemala con la información georreferenciada de los puntos de muestreo para la microcuenca del río Agua Tibia.



## INTRODUCCIÓN

En Guatemala se ha evidenciado la contaminación hídrica en las fuentes de aguas superficiales dentro de las que se consideran los cuerpos lénticos y lóticos, lagos y ríos respectivamente. Dicha contaminación hídrica ha estado concentrada en su mayoría en el municipio de Guatemala, debido a que las diferentes microcuencas han sido impactadas por las actividades antropogénicas que se realizan en el mismo municipio y de los efectos acumulativos en los municipios aledaños.

Dicha problemática ha incrementado la necesidad de establecer las condiciones ambientales y el grado de contaminación presente en las diferentes microcuencas; por esa razón, la Municipalidad de Guatemala ha integrado dentro de sus diversos proyectos relacionados con el Cinturón Ecológico Metropolitano de la Ciudad de Guatemala la implementación de una metodología de muestreo y evaluación de la calidad ambiental del agua en los ríos del municipio por medio de la utilización de bioindicación.

El reconocimiento de macroinvertebrados acuáticos permite la aplicación del índice biótico BMWP-CR por medio de la clasificación taxonómica de las familias de macroinvertebrados acuáticos, según su naturaleza, sensibilidad o tolerancia a la contaminación.

Asimismo, se ha integrado el análisis fisicoquímico de las aguas, el índice ISCA que valora la calidad ambiental del agua por medio de 5 parámetros fisicoquímicos. La combinación de ambas metodologías ponderará representativamente la calidad del agua al finalizar el proyecto de investigación.





## **1. ANTECEDENTES**

En el transcurso de la historia que define las acciones antropogénicas que han desarrollado la situación actual, en cuanto a las condiciones de contaminación que se encuentran en los ecosistemas en los tiempos actuales, se han determinado las causas y efectos de dichas acciones; por lo que ha sido necesario evaluar el nivel de contaminantes, sus características y alcances en cuanto a la alteración de los ecosistemas.

Los efectos más evidentes han sido la pérdida de la biodiversidad y la contaminación hídrica; aspectos que han creado una dependencia para facilitar el desarrollo de la bioindicación, la cual se basa en localizar la presencia de una sustancia o individuo extraño que altera el comportamiento y la cantidad de los organismos que habitan en un ecosistema.

Los organismos bioindicadores son aquellos organismos o comunidades en los que su existencia, sus características estructurales, funcionamiento y sus reacciones dependen del medio en que se desarrollan y cambian al modificarse las condiciones ambientales. Por medio de la observación de organismos bioindicadores se ha evaluado la calidad de las aguas superficiales durante varios años atrás.

A partir de los años 50, varios investigadores de diferentes países propusieron métodos biológicos para evaluar las condiciones ecológicas de los sistemas de aguas continentales, especialmente de las aguas continentales de

escorrentía: Patrick en 1949 y 1950, Weiman en 1951, Hynes en 1959 y 1963, Sladeczek en 1962.<sup>1</sup>

En las décadas de los 50 y principios de los 60 comienza a discutirse el concepto de diversidad de especies basado en índices matemáticos derivados de la teoría de la información. Se evalúa una comunidad natural que se caracteriza por poseer muchas especies y pocos individuos por especie, o estar constituida por pocas especies y muchos individuos por especie. De acuerdo a lo anterior, los daños causados por la contaminación orgánica e industrial o por la destrucción de hábitats por actividades agrícolas o mineras, pueden medirse mediante el análisis de las comunidades resultantes, comparadas con las no perturbadas.

En las décadas de los 80 y 90 se realizan revisiones de índices de diversidad y bióticos con diferentes tipos de mediciones para evaluación, aparece el índice BMWP y el de saprobiedad. En estas décadas se comienza a generalizar el uso de los índices y la modificación de algunos ya existentes.

El índice biológico BMWP (*Biological Monitoring Working Party*) es un procedimiento de medición de calidad del agua que utiliza macroinvertebrados bentónicos (que viven en los bentos o lechos de los ríos) de 110 familias taxonómicas, con diferentes tolerancias a los contaminantes; la ausencia de algunos, en consecuencia, dará resultados de la calidad del agua.

En Centroamérica, se han desarrollado diversas adaptaciones del método: en El Salvador (IBF 20120-SV), en Honduras, Nicaragua y Costa Rica

---

<sup>1</sup> ACUÑA CAMPOS, Esteban Stuardo. *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*. p. 1-2.

(BMWP-CR); de los cuales el último ha sido adaptado formalmente mediante el "Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales" (La Gaceta No. 178, Decreto No.33903 MINAE-S;).

En Guatemala se han realizado estudios sobre los escenarios ambientales en cuanto a las condiciones de calidad de agua en cuerpos lénticos y lóticos. En la Universidad de San Carlos de Guatemala se han realizado investigaciones y trabajos de graduación con el tema de análisis de macroinvertebrados, especialmente para la Licenciatura en Biología.

En el periodo de enero 2011 a enero 2012, se analizó la riqueza, composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en los ríos Pampumay y Pansalic-Panchinguajá con apoyo la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán (AMSA).

Se han ejecutado investigaciones en la ciudad capital, en el departamento ambiental de la Municipalidad de Guatemala, sobre las condiciones de calidad del agua por índices biológicos y fisicoquímicos, para las microcuencas de los ríos Contreras y Negro, en la época seca del año 2014, en un estudio de prácticas finales para Ingeniería Ambiental en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Contaminación del agua en Guatemala**

El problema de contaminación se considera muy grave en Guatemala, aunque en general existe más información cualitativa que cuantitativa al respecto. No hay una toma de muestras sistemáticas que abarque puntos de control en todo el país; existe información con cierta sistematización en cuencas determinadas como las de los lagos de Amatitlán y Atitlán.

La contaminación del agua afecta directamente su composición y características en alteraciones físicas, químicas y biológicas. Estas alteraciones se dan en su mayoría a causa de las actividades antropogénicas, debido a que los ríos y fuentes de agua superficiales han sido el destino final para todo tipo de residuos de actividades agrícolas, industriales, comerciales y los domiciliuales.

#### **2.1.1. Origen de la contaminación de las aguas**

La contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante, sin duda, es la provocada por el hombre. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua, una gran generación de residuos muchos de los cuales van a parar a las fuentes de agua y el uso de medios de transporte fluviales y marítimos que, en muchas ocasiones, son causa de contaminación de las aguas.



### **2.1.1.1. Naturales**

Las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de polución.

### **2.1.1.2. De origen humano**

Hay cuatro focos principales de contaminación antropogénica:

- **Industria:** según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos.
- **Vertidos urbanos:** la actividad doméstica produce principalmente residuos orgánicos; pero el alcantarillado arrastra además todo tipo de sustancias: emisiones de los automóviles, sales, ácidos, etc.
- **Agricultura y ganadería:** Los trabajos agrícolas producen vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan de una forma difusa pero muy notable las aguas.

Tabla I. **Alteraciones físicas del agua**

<b>Alteraciones físicas</b>	<b>Contaminación</b>
Color	Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores, pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación.
Olor y sabor	Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden generar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor.
Temperatura	El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10°C y 14°C
Materiales en suspensión	Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales), o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo se precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación.

Continuación de tabla I.

Espumas	Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder de autodepuración de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.
Conductividad	El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esta razón se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben realizar a 20°C.

Fuente: *Ciencias de la tierra y del medio*

*ambiente*, <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/00General/IndiceGral.html>.

Consulta: noviembre 2014.

Tabla II. **Alteraciones químicas del agua**

<b>Alteraciones químicas</b>	<b>Contaminación</b>
pH	Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO <sub>2</sub> disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales o por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO <sub>2</sub> formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato. Las aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales pueden tener pH muy ácido. El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua, actuación de los floculantes, tratamientos de depuración, etc.
Oxígeno disuelto OD	Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.
Materia orgánica biodegradable : demanda bioquímica de oxígeno DBO5	DBO5 es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas e ir comprobando la eficacia del tratamiento depurador en una planta.

Continuación de tabla II.

<p>Materiales oxidables: demanda química de oxígeno DQO</p>	<p>Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido). Se determina en tres horas y, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo, la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.</p>
<p>Nitrógeno total</p>	<p>Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total Kendal) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado.</p>
<p>Fósforo total</p>	<p>El fósforo, como el nitrógeno, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos orto fosfatos, poli fosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en orto fosfatos que son los que se determinan por análisis químico.</p>

Continuación de tabla II.

Aniones	<p>Cloruros: indican salinidad.</p> <p>Nitratos: indican contaminación agrícola.</p> <p>Nitritos: indican actividad bacteriológica.</p> <p>Fosfatos: indican detergentes y fertilizantes.</p> <p>Sulfuros: indican acción bacteriológica anaerobia (aguas negras, etc.).</p> <p>Cianuros: indican contaminación de origen industrial.</p> <p>Fluoruros: en algunos casos se añaden al agua para la prevención de las caries.</p>
Cationes	<p>Sodio: indica salinidad.</p> <p>Calcio y magnesio: están relacionados con la dureza del agua.</p> <p>Amonio: contaminación con fertilizantes y heces.</p> <p>Metales pesados: de efectos muy nocivos, se bioacumulan en la cadena trófica.</p>
Compuestos orgánicos	<p>Los aceites y grasas procedentes de restos de alimentos o de procesos industriales (automóviles, lubricantes, etc.) son difíciles de metabolizar por las bacterias y flotan formando películas en el agua que dañan a los seres vivos. Los fenoles pueden estar en el agua como resultado de contaminación industrial y cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante forman clorofenoles que son un serio problema porque dan al agua muy mal olor y sabor. La contaminación con pesticidas, petróleo y otros hidrocarburos se estudia con detalle en los capítulos correspondientes.</p>

Fuente: *Ciencias de la tierra y del medio*

*ambiente*, <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/00General/IndiceGral.html>.

Consulta: noviembre 2014.



Tabla III. **Alteraciones biológicas del agua**

<b>Alteraciones biológicas</b>	<b>Contaminación</b>
Bacterias coliformes	Desechos fecales
Virus	Desechos fecales y restos orgánicos
Animales, plantas, microorganismos diversos	Eutrofización

Fuente: *Ciencias de la Tierra y del medio ambiente*,

<http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/00General/IndiceGral.html>. Consulta: noviembre 2014.

### **2.1.2. Substancias contaminantes del agua**

Hay un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de muy diferentes maneras. Un procedimiento bastante usado es agruparlos en los siguientes ocho grupos:

- Microorganismos patógenos. Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños.

Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esta razón, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes

en el agua. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que en el agua para beber haya 0 colonias de coliformes por 100 ml de agua.

- Desechos orgánicos. Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir, en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, impide vivir en estas aguas, a peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto, OD, en agua, o la DBO (demanda biológica de oxígeno).
- Sustancias químicas inorgánicas. En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.
- Nutrientes vegetales inorgánicos. Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos lo que provoca la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos.
- Compuestos orgánicos. Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc., acaban en

el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.

- Sedimentos y materiales suspendidos. Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos; y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, ríos y puertos.
- Sustancias radiactivas. Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.

## **2.2. Evaluación biológica de la calidad de las aguas**

Los organismos vivos que habitan en los cursos de agua presentan adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales, y presentan unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas. Estos límites de tolerancia varían, y así, frente a una determinada alteración se encuentran organismos "sensibles" que no soportan las nuevas condiciones impuestas comportándose como "intolerantes", mientras que otros que son "tolerantes" no se ven afectados.

Si la perturbación sobrepasa el umbral letal, los organismos intolerantes mueren y su lugar es ocupado por comunidades de organismos tolerantes. Del

mismo modo, aun cuando la perturbación no sobrepase el umbral letal, los organismos intolerantes abandonan la zona alterada con lo cual dejan espacio libre que puede ser colonizado por organismos tolerantes. De modo que variaciones inesperadas en la composición y estructura de las comunidades de organismo vivos de los ríos pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación.

### **2.2.1. Macroinvertebrados acuáticos**

El término de macroinvertebrado acuático se emplea como una abstracción que incluye a aquellos animales invertebrados que, por su tamaño relativamente grande, son retenidos por redes de luz de malla de entre 250-300  $\mu\text{m}$ . La gran mayoría corresponde a grupos de artrópodos, y dentro de estos los insectos, y en especial sus formas larvianas, son las más abundantes.

#### **2.2.1.1. El monitoreo con macroinvertebrados acuáticos**

Un monitoreo biológico consiste en tomar información en varias ocasiones de las plantas y animales que viven en el río y en los alrededores y al menos en dos áreas diferentes.

Para conocer el estado real de contaminación de un río contaminado se pueden utilizar macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. Estos organismos miden entre 2mm y 30 cm, se encuentran en lugares de agua dulce como esteros, ríos, lagos y lagunas. Los grupos más representativos son los

poríferos, celenterados, platelmintos, anélidos, moluscos, insectos, crustáceos y arácnidos.<sup>2</sup>

Estos animales son usados como bioindicadores de la calidad de agua en el curso fluvial ya que la presencia de algunas familias y géneros es indicadora de aguas claras y limpias, mientras que otras soportan aguas muy contaminadas.

La sensibilidad a los contaminantes difiere mucho entre las familias de macro invertebrados y estará condicionada al tipo de escala utilizada.

Si se realiza un análisis mediante la escala EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), los organismos se ordenarán del 1 al 10, donde el 1 indicará que la familia es muy poco tolerante a la contaminación y el 10 que tolera muchos contaminantes. Si se utilizara el índice BMWP-CR, la escala está comprendida entre 0 y 200.<sup>3</sup>

### **2.2.2. Hábitats de los macroinvertebrados acuáticos**

Los hábitats pueden clasificarse con base en las características físicas y químicas del ambiente que actúan en diferentes escalas espaciales y temporales. Los macroinvertebrados acuáticos se encuentran distribuidos en diferentes ambientes, desde aguas litorales como esteros hasta aguas interiores como ríos y lagunas. A este nivel la distribución de los macroinvertebrados acuáticos se puede estudiar como una escala espacial regional, donde las diferencias en la distribución están dadas por características

---

<sup>2</sup> ABARCA MORALES, Henry. *El uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua*. Costa Rica: revista Biocenosis. Vol. 20, 2007. p. 97.

<sup>3</sup> ACUÑA CAMPOS, Esteban Stuardo. *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*. p. 20.

fisicoquímicas como cantidad de nutrientes, acidez del agua y la concentración de oxígeno, sales y solutos disueltos.

A una escala menor, como entre la orilla de un río y el centro de un río o la otra orilla, la distribución espacial de los macroinvertebrados se atribuye a diferencias en cuanto al flujo del agua (velocidad de corriente y profundidad en la columna de agua), sustrato y elementos bióticos como lo son la competencia y la depredación.<sup>4</sup>

### **2.3. Bioindicación y biomonitoreo**

En cualquier ecosistema, tanto los seres vivos como el ambiente que lo rodea interactúan entre sí intercambiando materia y energía.

De esta manera, la alteración en cada una de las partes mencionadas anteriormente va afectar directa o indirectamente a la otra; de igual manera, el comportamiento, alteración o sobrepoblación de una comunidad o población de una determinada especie, afecta directa o indirectamente al resto del ecosistema, afecta cada uno de sus componentes, de modo que las especies menos tolerantes desaparecerán y las más tolerantes ocuparán el espacio de las desaparecidas.

Éste es el concepto de los bioindicadores, 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.

---

<sup>4</sup> ALBA-TERCEDOR, Javier. *Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos*. Departamento de Biología Animal y Ecología. p. 204-205.

Estos 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 sobre los cambios ocurridos como del nivel de intensidad del cambio ambiental.

La capacidad de respuesta de los bioindicadores depende de muchos factores o la composición genética del organismo porque puede favorecer o no la adaptación a los cambios y, por tanto, la manifestación de respuestas fáciles y rápidamente visibles, el estado de desarrollo pues hay etapas en el ciclo vital que son más influyentes, por ejemplo, los individuos juveniles suelen ser más sensibles mientras que los adultos suelen ser más resistentes. Además, influyen las propias condiciones ambientales porque los estímulos pueden ser infinitamente variados y sus efectos no siempre son aditivos, sino que puede haber sinergismos o efectos potenciadores de condiciones frente a otras.

### **2.3.1. Tipos de bioindicadores**

Los bioindicadores pueden clasificarse atendiendo a diferentes criterios:

- El más sencillo consiste en atender el grado de sensibilidad que muestran frente a los estímulos ambientales; así se pueden diferenciar especies muy sensibles, sensibles, poco sensibles y resistentes.
- El segundo criterio es la forma de respuesta a los estímulos:
  - Detectores: bioindicadores que viven naturalmente en un área y que simplemente muestran respuestas tales como cambios de vitalidad, mortalidad o capacidad reproductora, 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.
  - Acumuladores: bioindicadores que por lo general son resistentes a ciertos compuestos al ser capaces de absorberlos y acumularlos en cantidades medibles.
  - Organismos test bioensayo: bioindicadores que se utilizan en el laboratorio a modo de reactivos para detectar la presencia 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 sus concentraciones también suelen utilizarse para establecer listas de contaminantes según su toxicidad.
- El tercer criterio responde al de poder cuantificar la respuesta. Pueden ser:
    - Bioindicadores: son aquellos que 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.
    - Biomonitores: son especies que indican la presencia de contaminantes o perturbaciones no solo de forma cualitativa, sino



también de forma cuantitativa porque sus reacciones son de alguna manera proporcional. Pueden ser biomonitores bien porque reaccionen de una forma determinada, es decir, por acumulación. Los biomonitores, por otra parte, pueden ser a su vez pasivos si son naturales en la zona que se esté considerando, o activos si son introducidos por el hombre mediante trasplantes.

### **2.3.2. Biomonitoreo**

El monitoreo es un seguimiento rutinario de la información prioritaria de un programa o problema, su progreso con respecto al tiempo, sus actividades y sus resultados.

En el caso de la monitorización ambiental, ésta puede ser:

- Físicoquímica: Consiste simplemente en medir concentraciones de contaminantes en el medio. Ésta puede llegar a ser muy rápida, pero arroja como resultados solo valores puntuales, pero sus resultados no dicen nada acerca de sus efectos a corto o largo plazo.
- Biológica o biomonitoreo: Consiste en el uso regular y sistemático de organismos vivos para monitorizar o determinar la calidad ambiental. Esta da información acerca de las relaciones entre las condiciones ambientales y el mundo vivo.

### **2.4. Índices biológicos utilizados en la calidad del agua**

Como se ha mencionado anteriormente, existen varios métodos de monitoreo biológico y para la calidad de las aguas existen dos clases de índices:

## **2.4.1. Índices de diversidad**

Estos miden la abundancia y biodiversidad de especies de un sitio; en los sitios donde exista mayor diversidad, la puntuación será mayor. Reflejan alteraciones del número total de comunidades de organismos. Como ventaja de estos índices con respecto a los bióticos destaca que "no es necesaria la identificación de especies o familias, que no se requiere información sobre la tolerancia a contaminación y que sirven para detectar episodios leves de contaminación".<sup>5</sup>

### **2.4.1.1. Índice de Shannon-Wiever**

Este índice relaciona el número de especies con la proporción de individuos pertenecientes a cada especie presente en la muestra. Sin embargo, ha sido criticado debido a que no considera aspectos importantes como la periodicidad y el tipo de muestreo, el nivel de la resolución taxonómica y porque responde de manera irregular a los cambios naturales del medio acuático.

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, etc.). Es un índice que disminuye mucho en aguas muy contaminadas. Por tanto, cuanto mayor valor tome el índice de Shannon-Wiener, mayor calidad tendrá el agua objeto de estudio.

---

<sup>5</sup> Miliarium Aureum, S.L. Ingeniería Civil y Medio Ambiente. *Índices globales de calidad de las aguas*. En línea. <<http://www.miliarium.com/prontuario/IndicesCalidadAgua.htm>>. [Consulta: 27 de octubre de 2014].

#### **2.4.1.2. Índice de Simpson-Gini**

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.

#### **2.4.1.3. Índice de Berger-Parker**

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.

#### **2.4.1.4. Índice de diversidad de Macintosh**

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

#### **2.4.2. Índices bióticos**

Estos suelen ser específicos para un tipo de contaminación o región geográfica y se basan en el concepto de tomar como base un organismo indicador, como se mencionó anteriormente. Permiten la valoración del estado ecológico de un ecosistema acuático afectado por un proceso de contaminación. Para ello a los grupos de invertebrados de una muestra se les asigna un valor numérico en función de su tolerancia a un tipo de contaminación

según el índice que vaya a tomarse, donde los valores finales indicarán la calidad de ese ecosistema acuático.

#### **2.4.2.1. Índice biótico de Trent TBI**

El índice biótico de Trent se utiliza para indicar el grado de tensión producido por las aguas residuales en comunidades animales de río, a partir de las cantidades de taxones y la presencia de especies o grupos claves. Utiliza 6 taxones y la valoración final del agua varía entre 0 (mala) y 15 (buena).

#### **2.4.2.2. Índice Chandler**

Utiliza 6 grupos, los mismos que Trent, y además emplea un factor de abundancia en el que cada especie tiene una puntuación que varía según el número de individuos. Es necesaria una identificación taxonómica de los macroinvertebrados hasta el nivel de género o especie. La puntuación final del agua varía entre 0 (mala) y un límite superior no definido, aunque se puede decir que si el índice es menor de 300 el agua está contaminada y si está comprendido entre 300 y 3000 el agua está poco contaminada.

#### **2.4.2.3. Índice biótico de familia IBF**

El índice biológico o biótico de Hilsenhoff ("IB" en español o "BI" por sus siglas en inglés) fue originalmente desarrollado en 1977 por el Dr. William Hilsenhoff de la Universidad de Wisconsin con el propósito de evaluar la reducción de oxígeno disuelto debido a la carga orgánica en ríos.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> ACUÑA CAMPOS, Esteban Stuardo. *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos.* p. 20.

Se debe obtener la taxonomía completa de los macroinvertebrados bentónicos esto a nivel de familia. Luego por cada familia se determina el puntaje de tolerancia, en donde 0 representa el menos tolerante y el 10 corresponde al más tolerante. La puntuación más alta es la más contaminada. Existe una adaptación de este método para el territorio de El Salvador.

#### 2.4.2.4. Índice EPT

Se llama así porque evalúa la abundancia de los grupos de macroinvertebrados Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, con respecto a la abundancia total de macroinvertebrados encontrados. Estos grupos se evalúan debido a que son más sensibles a la contaminación, así que los porcentajes de EPT mayores al 75 % de la abundancia total reflejan una buena calidad del agua y los cercanos a 0 % indican mala calidad. Generalmente, las evaluaciones del índice EPT van acompañados a las de BMWP debido a que se hace con base en el mismo muestreo, sin embargo, el EPT es un parámetro cuantitativo ya que se refiere al número de individuos EPT con relación al muestreo total de individuos.

Tabla IV. **Niveles de calidad del agua según índice EPT**

Clase	Índice EPT (%)	Calidad del agua
1	75-100	Muy buena
2	50-74	Buena
3	25-49	Regular
4	0-24	Mala

Fuente: ACUÑA CAMPOS, Esteban Stuardo. *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos.* p. 21.

#### **2.4.2.5. El Índice biótico BMWP (*Biological Monitoring Working Party*)**

En 1970 se estableció en Inglaterra el índice creado por Armitage, el *Biological Monitoring Working Party* (BMWP), como un método simple de puntaje para todos los grupos de macroinvertebrados identificados hasta nivel de familia y que requiere solo de datos cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con su tolerancia a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles reciben una puntuación de 10; en cambio las más tolerantes a la contaminación reciben una puntuación de 1. Las familias intolerantes a la contaminación tienen puntajes más altos y las tolerantes puntajes bajos.

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

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

##### **2.4.2.5.1. Algunas modificaciones del índice BMWP**

Debido a la fácil aplicación del índice, existen varias modificaciones; para efectos de este estudio se mencionarán las realizadas en países

hispanoamericanos. La primera de las más importantes es el IMBWP (*Iberian Biological Monitoring Working Party*, antes llamado BMWP), índice, como su nombre lo indica, aplicable para los cuerpos de agua en la península ibérica.

Fue creado por Javier-Tercedor, y hasta la fecha se han realizado una buena cantidad de estudios con base en este índice en muchas cuencas de España. Existe además la creada por el biólogo colombiano Gabriel Roldán Pérez quien ha trabajado en muchas investigaciones acerca del uso de macroinvertebrados como bioindicadores. El índice que creó es denominado en algunos textos BMWP-R (BMWP modificado para Antioquía, Colombia). Asimismo, existen otros índices modificados, utilizados en Chile y Ecuador, como el de Zúñiga de Cardoso.

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

#### **2.4.2.5.2. El índice BMWP-CR**

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

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

entre 2 milímetros y 30 centímetros"<sup>7</sup>. No poseen huesos, solamente exoesqueletos y viven en los fondos de los cuerpos de agua (bentos).

El puntaje se asigna una sola vez por familia, independientemente de la cantidad de individuos o géneros encontrados; de esta manera, las familias encontradas son sumadas y la suma de los puntajes de todas estas familias encontradas en cada sitio de muestreo es la que brinda el valor final del índice. Este índice no solo ha sido aplicado en Costa Rica, también existe un estudio aplicado para la cuenca del río Tascalapa en Honduras, debido a las similitudes climáticas en la zona de Centroamérica donde la biodiversidad es muy similar.

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

Tabla V. **Familias de macroinvertebrados para el índice BMWP-CR**

<b>Puntuación</b>	<b>Orden</b>	<b>Familia</b>
<b>9</b>	<i>Odonata</i>	<b><i>Polytoridae</i></b>
	<i>Diptera</i>	<b><i>Blephariceridae; Athericidae</i></b>
	<i>Ephemeroptera</i>	<b><i>Heptageniidae</i></b>
	<i>Plecoptera</i>	<b><i>Perlidae</i></b>
	<i>Trichoptera</i>	<b><i>Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hidrobiosidae; Ecnomidae</i></b>
<b>8</b>	<i>Ephemeroptera</i>	<b><i>Leptophlebiidae</i></b>
	<i>Odonata</i>	<b><i>Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae</i></b>
	<i>Trichoptera</i>	<b><i>Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae</i></b>

<sup>7</sup> MAFLA HERRERA, Maribel. *Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano Talamanca - Costa Rica*. 2005. p. 33.



Continuación de tabla V.

	<i>Blattodea</i>	<b>Blaberidae</b>
7	<i>Coleoptera</i>	<b>Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae</b>
	<i>Odonata</i>	<b>Gomphidae; Lestidae; Platystictidae; Megapodagrionidae; Protonneuridae</b>
	<i>Trichoptera</i>	<b>Philopotamidae</b>
	<i>Crustacea</i>	<b>Talitridae; Gammaridae</b>
6	<i>Odonata</i>	<b>Libellulidae</b>
	<i>Megaloptera</i>	<b>Corydalidae</b>
	<i>Trichoptera</i>	<b>Hydroptilidae; polycentropodidae; Xiphocentronidae</b>
	<i>Ephemeroptera</i>	<b>Euthyplociidae; Isonychidae</b>
5	<i>Lepidoptera</i>	<b>Pyralidae</b>
	<i>Trichoptera</i>	<b>Hydropsychidae; Helicopsychidae</b>
	<i>Coleoptera</i>	<b>Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae</b>
	<i>Ephemeroptera</i>	<b>Leptohyphidae; Oligoneuriidae; Polymitarciidae; Baetidae</b>
	<i>Crustacea</i>	<b>Crustacea</b>
	<i>Tricladida</i>	<b>Turbellaria</b>
4	<i>Coleoptera</i>	<b>Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae</b>
	<i>Diptera</i>	<b>Dixidae; Simuliidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; Muscidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae</b>
	<i>Hemiptera</i>	<b>Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae</b>
	<i>Odonata</i>	<b>Calopterygidae; Coenagrionidae</b>
	<i>Ephemeroptera</i>	<b>Caenidae</b>

Continuación de tabla V.

	<i>Hidracarina</i>	<b><i>Hidracarina</i></b>
<b>3</b>	<i>Coleoptera</i>	<b><i>Hydrophilidae</i></b>
	<i>Diptera</i>	<b><i>Psychodidae</i></b>
	<i>Mollusca</i>	<b><i>Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithynidae; Bythinellidae; Sphaeridae</i></b>
	<i>Annelida</i>	<b><i>Hirudinea; Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae</i></b>
	<i>Crustacea</i>	<b><i>Asellidae</i></b>
<b>2</b>	<i>Diptera</i>	<b><i>Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae</i></b>
<b>1</b>	<i>Diptera</i>	<b><i>Syrphidae</i></b>
	<i>Annelida</i>	<b><i>Oligochatea (todas las clases)</i></b>

Fuente: Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica. *Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. Decretos No. 33903-MINAE-S. 09 marzo del 2007*, p. 21. < <http://www.drh.go.cr/textos/Leyes/33903.pdf>> Consulta: 30 de octubre de 2014.

Según la suma de las puntuaciones por cada familia, se obtiene el número BMWP el cual se clasifica según el nivel de calidad en las mostradas en el siguiente cuadro. Por experiencia de profesionales en el tema, se conoce que un número BMWP no pasa más allá del 200.

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

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

Fuente: Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica. *Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales*. Decretos No. 33903-MINAE-S. 09 marzo del 2007, p. 21. < <http://www.drh.go.cr/textos/Leyes/33903.pdf>> Consulta: 30 de octubre de 2014.

### **2.4.3. Índices fisicoquímicos de calidad de las aguas**

Mediante estos índices se va a obtener un valor numérico adimensional que engloba las magnitudes de ciertos parámetros individuales cuyo número y tipo varía según el índice. Se usan para evaluar la calidad del agua y su evolución con el tiempo y tienen como inconveniente su poca robustez debido a que simplifican mucho la calidad al definirla mediante un único valor numérico. Los índices fisicoquímicos más utilizados en la actualidad son: el índice de

calidad general (ICG), el índice simplificado de calidad de aguas (ISCA) y el índice automático de calidad de aguas (IAQA).

#### **2.4.3.1. Índice de calidad general ICG**

Es una adaptación del índice Lamontagne y Provencher del Servicio de Calidad de las Aguas del Ministerio de Riquezas Naturales del Estado de Quebec en Canadá. Es un valor adimensional obtenido a partir de 23 parámetros procesados mediante ecuaciones lineales, de los cuales 9 se utilizan siempre y 14 según su influencia en la calidad. Los 9 parámetros básicos son: coliformes totales, conductividad, DBO, DQO-Mn, fósforos totales, sólidos en suspensión, nitratos, oxígeno disuelto y pH.

El índice de calidad general se puede expresar como:

$$ICG = \sum [F_1 * (K_i) * F_2 * (K_i)]$$

Donde:

$K_i$  es el valor analítico de cada parámetro, siendo  $i = 1, 2, 3 \dots 23$ .

$F_1$  es la función que transforma el valor analítico de cada parámetro en un valor adimensional. Se obtiene de esta forma el nivel de calidad  $Q_i$ .

$F_2$  es la función que pondera la influencia de cada parámetro en el global del índice.

Se obtiene así el peso específico de cada parámetro  $P_i$ :

$$P_i = [(1 / a_i) / \sum (1 / a_i)]; \text{ siendo } a_i = 1 \text{ (muy importante) hasta } a_i = 4 \text{ (poco importante)}$$

Por tanto, el ICG se puede expresar finalmente como:

$$ICG = \sum (Q_i * P_i)$$

Un parámetro complementario se utilizará si su  $Q_i < 60$ , es decir, si tiene una influencia negativa alta dentro de la calidad del agua.

Si algún parámetro tiene  $Q_i = 0$  se considera agua contaminada.

Tabla VII. **Clasificación de las aguas en función de su ICG**

<b>ICG</b>	<b>Calidad del agua</b>
100	Excelente
$85 \leq ICG < 100$	Muy buena
$75 \leq ICG < 85$	Buena
$65 \leq ICG < 75$	Utilizable
$50 \leq ICG < 65$	Mala (limitaciones de uso)
$ICG < 50$	Pésima (graves limitaciones en su uso)

Fuente: Miliarium Aureum, S.L. Ingeniería Civil y Medio Ambiente. *Índices globales de calidad de las aguas*. <<http://www.miliarium.com/prontuario/IndicesCalidadAgua.htm>>. Consulta: 27 de octubre de 2014.

### 2.4.3.2. Índice simplificado de la calidad del agua ISCA<sup>8</sup>

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

#### 2.4.3.2.1. Método para la determinación del ISCA

Este método utiliza cinco parámetros físicos y químicos de tipo general: temperatura, DQO, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, según la fórmula:

$$\text{ISCA} = T \cdot (A + B + C + D) \quad [\text{Fórmula 1}]$$

Donde:

- T se deduce de la temperatura en °C del agua del río. Puede adquirir valores de 1 a 0,8.

Si  $t \leq 20^\circ\text{C}$  entonces  $T=1$

Si  $t > 20^\circ\text{C}$  entonces  $T=1-(t-20) \cdot 0,0125$

- A se deduce de la oxidabilidad al permanganato (DQO), (a) expresada en mg/L. Puede adquirir valores de 0 a 30.

Si  $a \leq 10$  entonces  $A=30 - a$

Si  $60 > a > 10$  entonces  $A = 21 - (0,35 \cdot a)$

---

<sup>8</sup> Miliarium Aureum, S.L. Ingeniería Civil y Medio Ambiente. *Índices globales de calidad de las aguas*. [en línea]. <<http://www.miliarium.com/prontuario/IndicesCalidadAgua.htm>>. [Consulta: 27 de octubre de 2014].

Si  $a > 60$  entonces  $A = 0$

- B se deduce a partir de los sólidos suspendidos totales (SST) en mg/L. Puede adquirir valores de 0 a 25.

Si  $SST \leq 100$  entonces  $B = 25 - (0,15 * SST)$

Si  $250 > SST > 100$  entonces  $B = 17 - (0,07 * SST)$

Si  $SST > 250$  entonces  $B = 0$

- C se deduce a partir del oxígeno disuelto ( $O_2$ ) en mg/L. Puede adquirir valores de 0 a 25.

$C = 2,5 * O_2 \text{ disuelto}$

Si  $O_2 \text{ disuelto} \geq 10$  entonces  $C = 25$

- D se deduce de la conductividad eléctrica expresada en  $\mu S/cm$  (c) a  $18^\circ C$ . Si la conductividad se ha medido a  $25^\circ C$ , para convertirla a  $18^\circ C$  se debe multiplicar por 0,86 los valores de D pueden adquirir valores de 0 a 20.

Si conductividad  $\leq 4000$  entonces  $D = (3,6 - \log c) * 15,4$

Si es  $> 4000$  entonces  $D = 0$

#### **2.4.3.2.2. Interpretación del ISCA**

El índice se basa en el resumen de cinco parámetros físicos y químicos en una escala de 0 a 100 puntos con las características descritas en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Significado de los valores del ISCA**

<b>ISCA</b>	<b>Categoría</b>	<b>Descripción</b>
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.
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.
70-80	Intermedia	La calidad del agua es frecuentemente afectada; las condiciones a veces no cumplen con los niveles deseados.
60-70	Admisible	La calidad del agua es frecuentemente afectada; las condiciones a menudo no cumplen con los niveles deseados.
0-60	Inadmisible	La calidad del agua es continuamente afectada; las condiciones no cumplen con los niveles deseados.

Fuente: RIVERA MÉNDEZ, Jorge. *Determinación de los índices de calidad y coeficientes cinéticos de auto depuración del agua, en la parte alta de la cuenca del río Naranjo, ubicada en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango.* p. 28.



Tabla IX. Representación de los grupos de valores según ISCA

ISCA	Característica		Propiedades del agua	Análisis de parámetros	Color
	Animal	Actividad			
100-85	TRUITA	Abastecimiento	Aguas montañosas. Son limpias, frescas, de bajo contenido orgánico y mineral, generalmente se encuentran cerca de montañas con presencia de nieve en invierno.	Temp. < 20°C Oxig. Dis. > 7 mg/l DBO3 < 3 mg/l DQO < 20 mg/l Oxidab. < 3 mg/l Sol. Susp. < 30 mg/l	
85-75	BARBO	Natación	Aguas claras. Esencialmente son limpias y fácilmente potabilizables.	Temp. < 22°C Oxig. Dis. > 5 mg/l	
75-60	BAGRE	Pesca	Aguas turbias. Tienen un contenido orgánico y mineral importante que hace necesario un tratamiento fisicoquímico significativo de carácter convencional para potabilizarlas.	DBO3 < 5 mg/l DQO < 25 mg/l Oxidab. < 5mg/l Sol. Susp. < 60mg/l	
60-45	CARPA	Náutica	Aguas sucias. Son espumosas, opacas con coloración. Para ser potabilizadas necesitan un tratamiento energético, con tecnología avanzada. Presentan problemas de gusto y olores desagradables. Es probable la muerte de peces en tiempo de mermas o por derrames determinados.	Temp. < 25°C Oxig. Dis. > 3 mg/l DBO3 < 10 mg/l DQO < 40 mg/l Oxidab. < 8mg/l Sol. Susp. < 100mg/l	

Continuación de tabla IX.

45-30	ANGUILA	Riego por inundación	Aguas deterioradas. Desaconsejables para el consumo humano, si bien aptos para uso agrícola vigilado, a fin de evitar problemas sanitarios. Tienen poco oxígeno disuelto. En el fondo del río hay sedimentos con fermentación anaerobia.	Temp. < 30°C Oxig. Dis. > 1 mg/l DBO3 < 25 mg/l DQO < 80 mg/l Oxidab. < 30mg/l Sol. Susp. < 100mg/l	
30-15	RANA	Riego de árboles	Aguas residuales diluidas. Fermentaciones anaeróbicas generalizadas en todas partes, con olores desagradables y coloraciones intensas. En regar los árboles hay peligro de degradar las aguas subterráneas.	Temp. > 30°C Oxig. Dis. < 1 mg/l DBO3 > 25mg/l DQO > 80 mg/l Oxidab. >30 mg/l	
15-00	RATA	Peligro generalizado	Aguas residuales. La situación global del río es calamitosa. Las aguas subterráneas próximas al cauce están degradadas. El conjunto del sistema no es recuperable a corto plazo.	Sol. Susp. >100 mg/l	

Fuente: QUERALT, Ramon; GODÉ, Lluís. *La qualitat de l'aigua als rius de Catalunya millora progressivament*. España. 6 p.

<<http://www.raco.cat/index.php/Espais/article/download/91151/158878>> Consulta: 20 de marzo de 2015.

### **2.4.3.3. Índice automático de calidad de agua (IAQA)**

Es una variante del ISCA en la que se utiliza siempre COT como parámetro A y turbidez como parámetro B. Los valores de los parámetros se obtienen de redes automáticas de control lo que facilita resultados en tiempo real y continuo.

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

Tabla X. Variables a desarrollar en la investigación

	Variable	Unidad	Independiente	Dependiente	Monitoreable	No monitoreable	Variable respuesta
<b>Índice ISCA</b>	Temperatura	°C	X		X		
	Demanda química de oxígeno DQO	mg/L	X		X		
	Sólidos suspendidos totales	mg/L	X		X		
	Oxígeno disuelto	mg/L	X		X		
	Conductividad eléctrica	µS/cm	X		X		
	Valor ISCA	NA			X		X
<b>Índice BMWP</b>	Variedad taxonómica	NA	X		X		
	Puntuación de macroinvertebrados	NA	X		X		
	Número BMWP	NA			X		X
	Calidad del agua	NA			X		X

Fuente: elaboración propia.

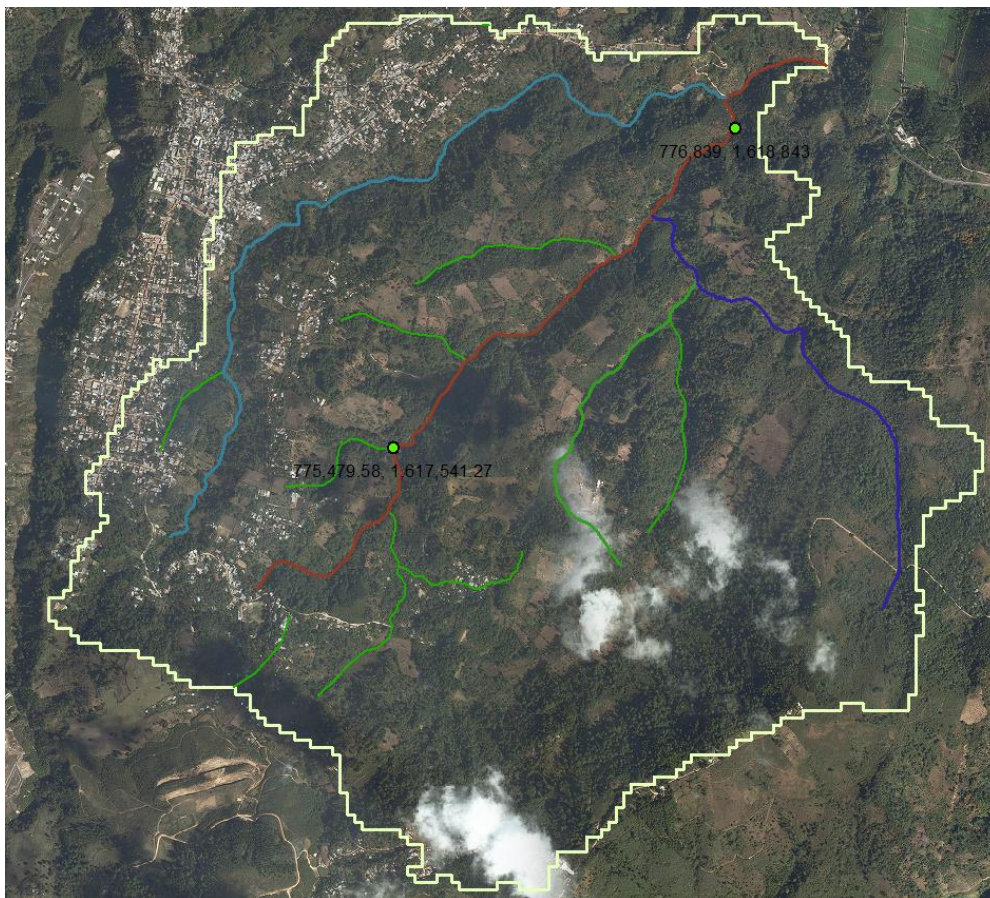
### 3.2. Delimitación del campo de estudio

Tabla XI. **Coordenadas UTM de los puntos de muestreo**

Parte de la microcuenca	Coordenadas en X (m)	Coordenadas en Y (m)
Alta	775479.58	1617541.27
Baja	776839	1618843

Fuente: elaboración propia.

Figura 1. **Delimitación de la microcuenca del río Agua Tibia y localización de puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.1.

Campo: Recurso hídrico

Área: Calidad ambiental del agua

Línea: Índices biótico y fisicoquímicos

Proyecto: **Determinación de la calidad ambiental del agua, mediante índices bióticos y fisicoquímicos en la microcuenca del río agua tibia, zona 24.**

Ubicación: microcuenca del río Agua Tibia, localizada en la zona 24 de la ciudad de Guatemala. (Véase figura 1).

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

- Investigadora: Odalis Ivette López Salazar
- Asesor: Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
- Coasesor: Inga. Jeanny Beatriz Ramírez Sosa
- Revisor de terna: Licda. Ingrid Benítez
- Equipo de visitas de campo: personal del área de planificación y área técnica de la Municipalidad de Guatemala
- Guía local: David Ortiz Promotor de alcaldía auxiliar zona 24

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

- Recursos físicos disponibles. La parte analítica de las muestras se llevará a cabo en el Laboratorio de Química y Microbiología Dra. Alba Tabarini con sede en el edificio T5 del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Equipo de protección personal
  - Guantes de látex
  - Botas de hule
  - Bata de laboratorio
  
- Equipo para la toma de muestras
  - Red de muestreo tipo D (cedazo de 1mm)
  - Bandejas blancas
  - Pinzas
  - Botes de plástico con tapón
  - Alcohol etílico al 70%
  - Glicerina
  - Dispositivo GPS
  - Multiparamétrico
  - Estereoscopio y/o lupa
  - Cámara digital
  
- Reactivos e insumos
  - Agua destilada
  - Reactivo para DQO parámetro de 0-150 mg/L
  - Filtros de 45mm para SST
  
- Cristalería y equipo para análisis en laboratorio
  - Equipo de sólidos suspendidos totales
  - Probeta de 100mL
  - Kitasato
  - Manguera
  - Bomba de vacío
  - Horno

- Balanza analítica
- Deshumidificador
- Equipo para demanda química de oxígeno
  - Tubos de ensayo con tapón
  - Pipeta de 5mL
  - Termoreactor
  - Espectrofotómetro
- Equipo para conductividad eléctrica
  - Beacker de 50 mL
  - Conductivímetro
- Equipo auxiliar
  - Una computadora marca ASUS, Intel iCore 7, Windows 8
  - Una impresora marca Canon IP2700

### **3.5. Técnica cualitativa**

El estudio a realizar es de carácter cualitativo-descriptivo para ambos índices: BMWP-CR e ISCA; el índice ISCA involucra factores numéricos, pero no son determinantes para caracterizar la investigación como cuantitativa. Los índices se van a ponderar de acuerdo a las características de las muestras a tomar y las relaciones que determine cada uno.



### **3.6. Recolección y ordenamiento de la información**

#### **3.6.1. Recolección de información**

Procedimiento de toma de muestras

- Localización del punto de muestreo con el uso del GPS.
- Tomar una muestra representativa con la red tipo D para macroinvertebrados.
- Almacenar la muestra recolectada de macroinvertebrados en una bolsa con seguro de sellado con alcohol y glicerina.
- Lavado de los recipientes de plástico con tapón y repetir tres veces antes de recolectar la muestra de agua.
- Tomar una muestra de agua dejando el recipiente cerrado.
- Almacenar la muestra en el medio de transporte con hielo para la conservación de sus propiedades por más tiempo.

Procedimiento para análisis fisicoquímicos

- Anotar los parámetros in-situ de temperatura y oxígeno disuelto de la muestra de agua en la parte alta y baja.
- Medir el DQO en cada muestra.
- Medir la cantidad de SST en cada muestra.
- Medir la conductividad eléctrica de cada muestra.
- Calcular el índice simplificado de calidad del agua (ISCA).
- Ponderar la calidad del agua.

### Procedimiento para análisis con macroinvertebrados

- Análisis de macroinvertebrados con guías taxonómicas, uso de lupa y/o estereoscopio según sea conveniente.
- Clasificar los macroinvertebrados por orden y familia.
- Ponderar la calidad del agua en base al índice biótico *Biological Monitoring Working Party* BMWP-CR.

### 3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Tabla XII. **Parámetros In-situ época lluviosa**

<b>Muestreo época lluviosa</b>					
<b>Parámetros in-situ</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>
Temperatura (°C)	21.8	22	18.5	18.4	17.7
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.35	4.2	4.27	5.54	4.85

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Parámetros In-situ época seca**

<b>Muestreo época seca</b>					
<b>Parámetros in-situ</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>
Temperatura (°C)	21.3	21.5	17.9	17.3	17.2
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.75	4.87	5.08	4.92	4.37

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 1 de la época lluviosa**

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntuación</b>
Annelida	Oligochaeta	1
Coleoptera	Dytiscidae (larva)	4
Diptera	Chironomidae	2
	Muscidae	2
	Simuliidae	4
	Tipulidae	4
Ephemeroptera	Baetidae	5
Hemiptera	Ochteridae	4
Lepidoptera	Crambidae	5
	Calopterygidae	4
	Coenagrionidae	4
Trichoptera	Hydropsychidae	5
<b>Sumatoria</b>		<b>44</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla XV. **Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 2 de la época lluviosa**

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntuación</b>
Annelida	Oligochaeta	1
Diptera	Chironomidae	2
	Simuliidae	4
	Tipulidae	4
	Baetidae	5
Ephemeroptera	Leptohyphidae	5
Odonata	Calopterygidae	4
	Coenagrionidae	4
<b>Sumatoria</b>		<b>29</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 3 de la época lluviosa**

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntuación</b>
Annelida	Oligochaeta	1
Coleoptera	Dytiscidae	4
Diptera	Chironomidae	2
	Simuliidae	4
	Tipulidae	4
Ephemeroptera	Baetidae	5
Hemiptera	Gerridae	3
Odonata	Calopterygidae	4
	Coenagrionidae	4
Trichoptera	Hidropsychidae	5
<b>Sumatoria</b>		<b>36</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 4 de la época lluviosa**

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntuación</b>
Annelida	Oligochaeta	1
Diptera	Chironomidae	2
Ephemeroptera	Leptohyphidae	5
<b>Sumatoria</b>		<b>8</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 5 de la época lluviosa**

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntuación</b>
Diptera	Chironomidae	2
Ephemeroptera	Baetidae	5
	Leptohyphidae	5

Continuación de tabla XVIII.

	Belostomatidae	4
	Gerridae	3
Hemiptera	Veliidae	3
	Calopterygidae	4
Odonata	Coenagrionidae	4
<b>Sumatoria</b>		30

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 1 de la época lluviosa**

Orden	Familia	Puntuación
Coleoptera	Dytiscidae	4
	Chironomidae	2
	Ephydriidae (larva)	2
Diptera	Simuliidae	4
Ephemeroptera	Leptohyphidae	5
	Belostomatidae	4
Hemiptera	Veliidae	3
	Calopterygidae	4
Odonata	Coenagrionidae	4
Trichoptera	Hydropsychidae	5
<b>Sumatoria</b>		37

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 2 de la época lluviosa**

Orden	Familia	Puntuación
	Chironomidae	2
Diptera	Simuliidae	4
Ephemeroptera	Leptohyphidae	5

Continuación de tabla XX.

Hemiptera	Belostomatidae	4
	Veliidae	3
Odonata	Calopterygidae	4
	Coenagrionidae	4
Trichoptera	Hydropsychidae	5
<b>Sumatoria</b>		<b>31</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 3 de la época lluviosa**

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntuación</b>
Coleoptera	Dytiscidae	4
	Staphilinidae	4
Diptera	Chironomidae	2
Ephemeroptera	Baetidae	5
	Leptohiphidae	5
Hemiptera	Belostomatidae	4
	Gerridae	3
	Veliidae	3
Odonata	Calopterygidae	4
	Coenagrionidae	4
	Libellulidae	6
<b>Sumatoria</b>		<b>40</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 4 de la época lluviosa**

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntuación</b>
Coleoptera	Dytiscidae	4
	Staphilidae	4
Diptera	Chironomidae	2

Continuación de tabla XXII.

Ephemeroptera	Leptohyphidae	5
	Belostomatidae	4
	Gerridae	3
Hemiptera	Veliidae	3
Lepidoptera	Crambidae	5
Odonata	Calopterygidae	4
<b>Sumatoria</b>		34

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 5 de la época lluviosa**

Orden	Familia	Puntuación
	Chironomidae	2
	Dolichopodidae	4
Diptera	Muscidae	4
Odonata	Coenagrionidae	4
Trichoptera	Hidropsychidae	5
<b>Sumatoria</b>		19

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 1 de la época seca**

Orden	Familia	Puntuación
Annelida	Oligochaeta	1
Coleoptera	Dytiscidae	4
	Chironomidae	2
	Culicidae	2
Diptera	Muscidae	4
Mollusca	Physidae	3
Odonata	Coenagrionidae	4
<b>Sumatoria</b>		20

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 2 de la época seca**

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntuación</b>
Annelida	Oligochaeta	1
Coleoptera	Dytiscidae	4
	Chironomidae	2
	Culicidae	2
	Tipulidae	4
Diptera	Tipulidae	4
Hemiptera	Gerridae	3
Mollusca	Ancylidae	7
Mollusca	Physidae	3
Mollusca	Sphaeriidae	3
Odonata	Coenagrionidae	4
<b>Sumatoria</b>		<b>33</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 3 de la época seca**

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntuación</b>
Coleoptera	Dytiscidae	4
Coleoptera	Ptilodactylidae	7
	Chironomidae	2
	Culicidae	2
	Muscidae	4
Diptera	Tipulidae	4
Hemiptera	Belostomatidae	4
Mollusca	Physidae	3
<b>Sumatoria</b>		<b>30</b>

Fuente: elaboración propia.



Tabla XXVII. **Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 4 de la época seca**

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntuación</b>
Coleoptera	Dytiscidae	4
Hemiptera	Veliidae	3
	Chironomidae	2
	Culicidae	2
	Muscidae	4
Diptera	Muscidae	4
Lepidoptera	Crambidae	5
	Physidae	3
	Sphaeriidae	3
Mollusca	Sphaeriidae	3
Odonata	Coenagrionidae	4
<b>Sumatoria</b>		<b>30</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Familias obtenidas en parte alta. Muestreo día 5 de la época seca**

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntuación</b>
Annelida	Oligochaeta	1
Coleoptera	Dytiscidae	4
	Chironomidae	2
	Culicidae	2
	Muscidae	4
Diptera	Tipulidae	4
Mollusca	Physidae	3
<b>Sumatoria</b>		<b>20</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 1 de la época seca**

Orden	Familia	Puntuación
Hemiptera	Belostomatidae	4
Odonata	Coenagrionidae	4
	Libelulidae	6
Trichoptera	Policentropodidae	6
Ephemeroptera	Baetidae	5
	Leptohyphidae	5
<b>Sumatoria</b>		<b>30</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 2 de la época seca**

Orden	Familia	Puntuación
Coleoptera	Dytiscidae	4
Ephemeroptera	Baetidae	5
	Leptohyphidae	5
Hemiptera	Belostomatidae	4
	Gerridae	3
	Veliidae	3
Odonata	Coenagrionidae	4
	Libellulidae	6
<b>Sumatoria</b>		<b>34</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 3 de la época seca**

Orden	Familia	Puntuación
Coleoptera	Dytiscidae	4
Ephemeroptera	Baetidae	5
	Leptohyphidae	5
Hemiptera	Veliidae	3
Odonata	Calopterygidae	4
	Coenagrionidae	4
	Libelulidae	6
Trichoptera	Polycentropodidae	6
<b>Sumatoria</b>		<b>37</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 4 de la época seca**

Orden	Familia	Puntuación
Coleoptera	Dytiscidae	4
	Hidraenidae	5
Diptera	Chironomidae	2
Ephemeroptera	Baetidae	5
	Leptohyphidae	5
Hemiptera	Gerridae	3
	Veliidae	3
Odonata	Coenagrionidae	4
	Libelulidae	6
Trichoptera	Policentropodidae	6
<b>Sumatoria</b>		<b>43</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Familias obtenidas en parte baja. Muestreo día 5 de la época seca**

Orden	Familia	Puntuación
Coleoptera	Dytiscidae	4
Ephemeroptera	Baetidae	5
	Leptohyphidae	5
	Belostomatidae	4
Hemiptera	Gerridae	3
	Veliidae	3
Trichoptera	Polycentropodidae	6
<b>Sumatoria</b>		<b>30</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Parámetros fisicoquímicos analizados. Parte alta en época lluviosa**

Muestra (Día)	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Conductividad (µS/cm)
1	21.8	6.35	57	72	129.4
2	22	4.2	30	170	144.6
3	18.53	4.27	2	34	118.7
4	18.42	5.54	15	24	133.3
5	17.7	4.85	1	14	168.7

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Parámetros fisicoquímicos analizados. Parte baja en época lluviosa**

Muestra (Día)	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Conductividad (µS/cm)
1	21.3	5.75	21	28	94.7
2	21.5	4.87	2	30	127.5
3	17.9	5.08	0	15	113.5

Continuación de tabla XXXV.

4	17.3	4.92	1	21	114.7
5	17.2	4.37	7	6	153.6

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Parámetros fisicoquímicos analizados. Parte alta en época seca**

Muestra (Día)	In-situ		Análisis de laboratorio		
	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Conductividad (µS/cm)
1	15.9	4.13	28	16	252
2	15.7	3.22	49	23	268
3	16.7	3.5	34	26	264
4	17.6	2.82	27	33	285
5	18	2.54	16	15	285

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Parámetros fisicoquímicos analizados. Parte baja en época seca**

Muestra (Día)	In-situ		Análisis de laboratorio		
	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Conductividad (µS/cm)
1	15.3	6.06	1	52	184.1
2	15.6	4.91	3	23	194.7
3	15.5	4.91	1	10	195.5
4	18.1	3.11	5	62	204
5	18.5	3.74	1	40	205

Fuente: elaboración propia.

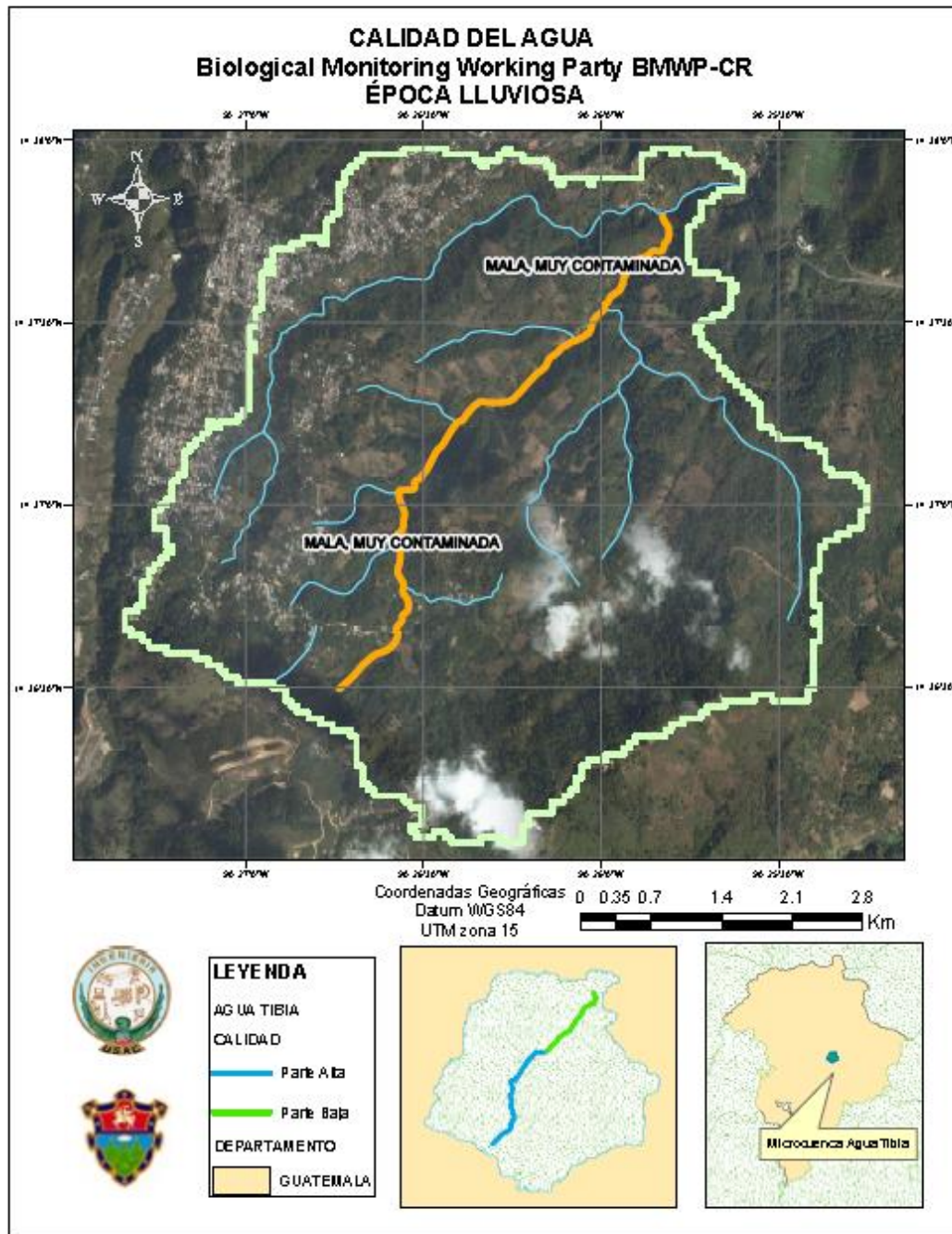
## 4. RESULTADOS

Tabla XXXVIII. Calidad del agua. Índice BMWP-CR

	Punto de Muestreo	Puntuación					Promedio	Calidad	Color Representativo
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5			
<b>Época lluviosa</b>	Parte alta	44	29	36	8	30	29.4	Mala	Naranja
	Parte baja	37	31	40	34	19	32.2	Mala	Naranja
<b>Época seca</b>	Parte alta	20	33	30	30	20	26.6	Mala	Naranja
	Parte baja	30	34	37	43	30	34.8	Mala	Naranja

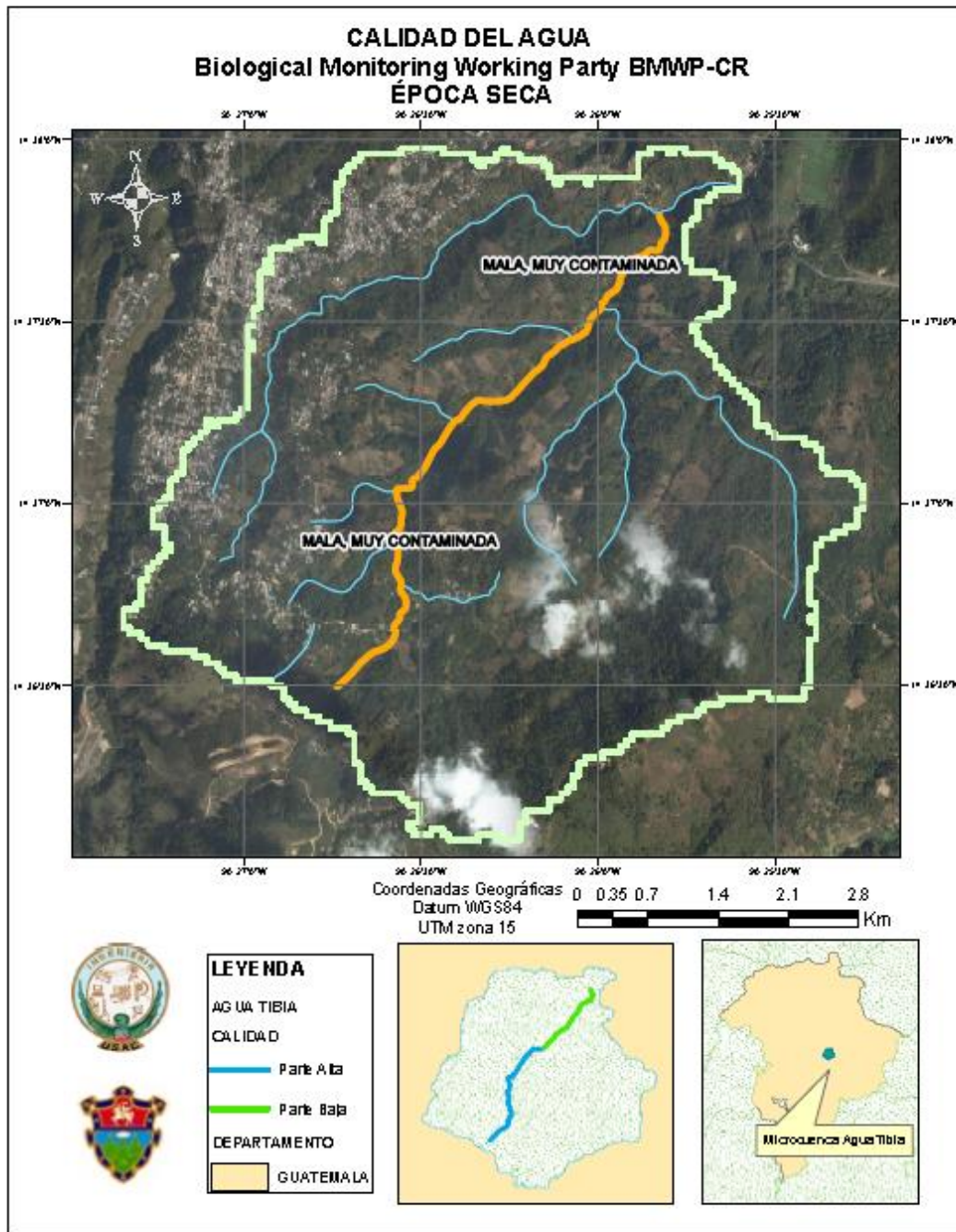
Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia. Índice BMWP-CR. Época lluviosa.



Fuente: elaboración propia, con programa ArcGis 10.

Figura 3. Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia. Por índice BMWP-CR. Época seca.



Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.



Tabla XXXIX. **Calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia. Índice ISCA en la época lluviosa, parte alta.**

Muestra (día)	In-situ		Análisis de laboratorio			ISCA= T(A+B+C+D)	Calidad
	T (°C)	C (mg/L)	A (mg/L)	B (mg/L)	D (µS/cm)		
1	0.98	15.88	1.05	14.2	22.92	52.83	Inadmisible
2	0.98	10.50	10.5	5.1	22.17	47.07	Inadmisible
3	1.00	10.68	28	19.9	23.49	82.07	Buena
4	1.00	13.85	15.75	21.4	22.72	73.72	Intermedia
5	1.00	12.13	29	22.9	21.14	85.17	Buena
<b>Promedio</b>						68.17	Admisible

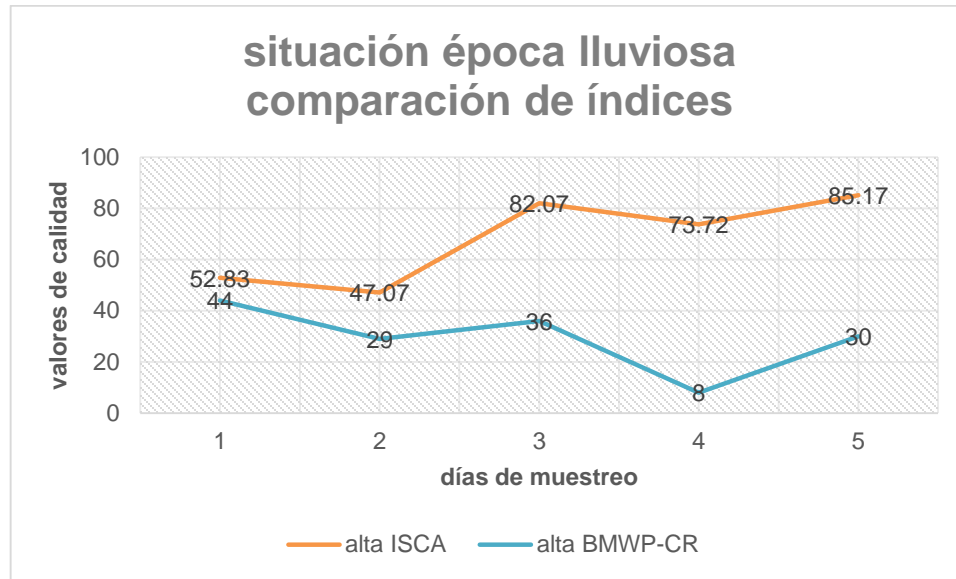
Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia. Índice ISCA en la época lluviosa, parte baja.**

Muestra (Día)	In-situ		Análisis de laboratorio			ISCA= T(A+B+C+D)	Calidad
	T (°C)	C (mg/L)	A (mg/L)	B (mg/L)	D (µS/cm)		
1	0.98	14.38	13.65	20.80	25.00	72.63	Intermedia
2	0.98	12.18	28.00	20.50	23.02	82.12	Buena
3	1.00	12.70	30.00	22.75	23.79	89.24	Buena
4	1.00	12.30	29.00	21.85	23.72	86.87	Buena
5	1.00	10.93	23.00	24.10	21.77	79.79	Intermedia
<b>Promedio</b>						82.13	Buena

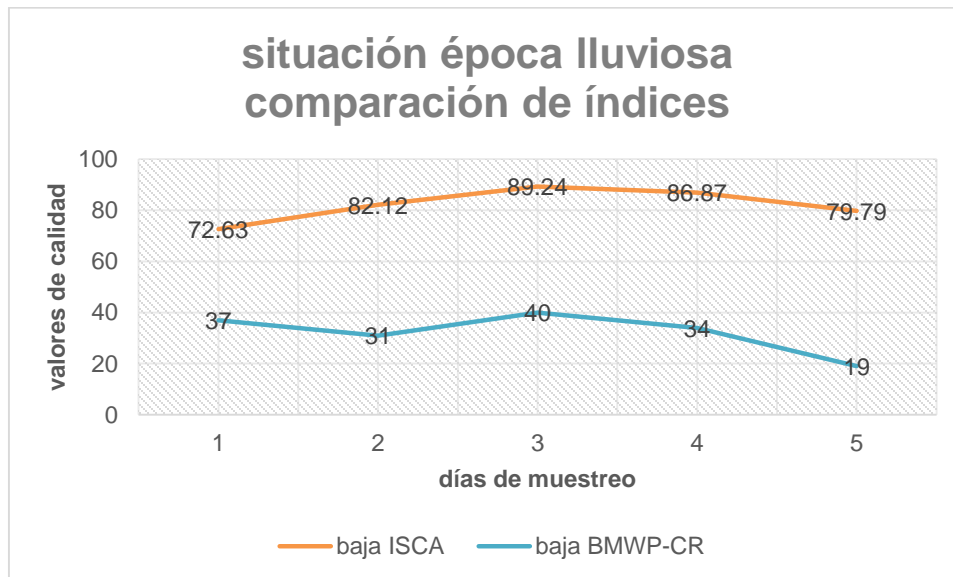
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Situación época lluviosa parte alta. Comparación gráfica de índices.**



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Situación época lluviosa parte baja. Comparación gráfica de índices.**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia. Índice ISCA en la época seca, parte alta.**

Muestra (Día)	In-situ		Análisis de laboratorio			ISCA= T(A+B+C+D)	Calidad
	T (°C)	C (mg/L)	A (mg/L)	B (mg/L)	D (µS/cm)		
1	1.00	10.33	11.20	22.60	18.46	62.58	Admisible
2	1.00	8.05	3.85	21.55	18.05	51.50	Inadmisible
3	1.00	8.75	9.10	21.10	18.15	57.10	Inadmisible
4	1.00	7.05	11.55	20.05	17.64	56.29	Inadmisible
5	1.00	6.35	15.40	22.75	17.64	62.14	Admisible
					<b>Promedio</b>	57.92	Inadmisible

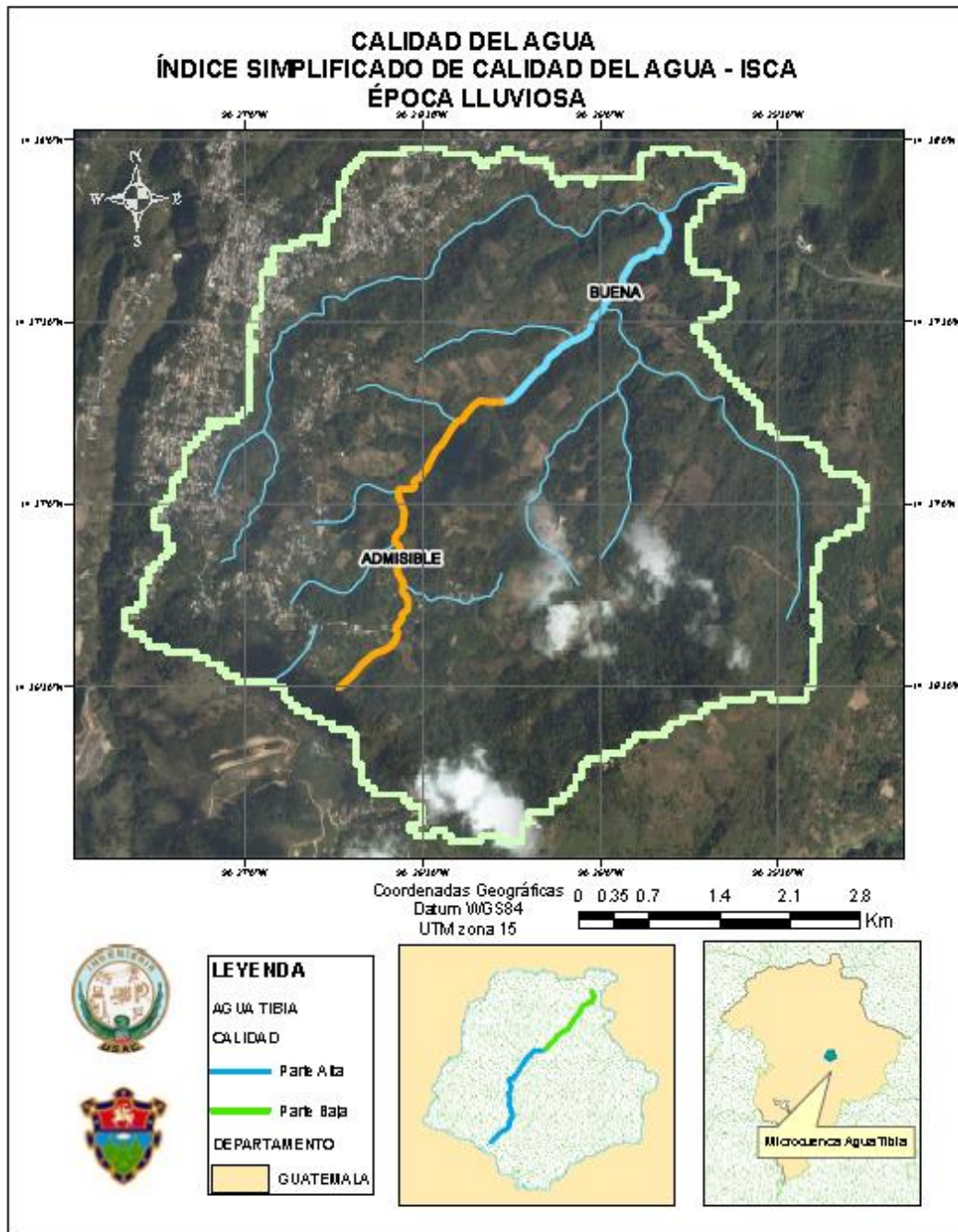
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia. Índice ISCA en la época seca, parte baja.**

Muestra (Día)	In-situ		Análisis de laboratorio			ISCA= T(A+B+C+D)	Calidad
	T (°C)	C (mg/L)	A (mg/L)	B (mg/L)	D (µS/cm)		
1	1.00	15.15	20.65	17.20	20.56	73.56	Intermedia
2	1.00	12.28	27.00	21.55	20.18	81.01	Buena
3	1.00	12.28	29.00	23.50	20.16	84.93	Buena
4	1.00	7.78	25.00	15.70	19.87	68.35	Admisible
5	1.00	9.35	29.00	19.00	19.84	77.19	Intermedia
					<b>Promedio</b>	77.01	Intermedia

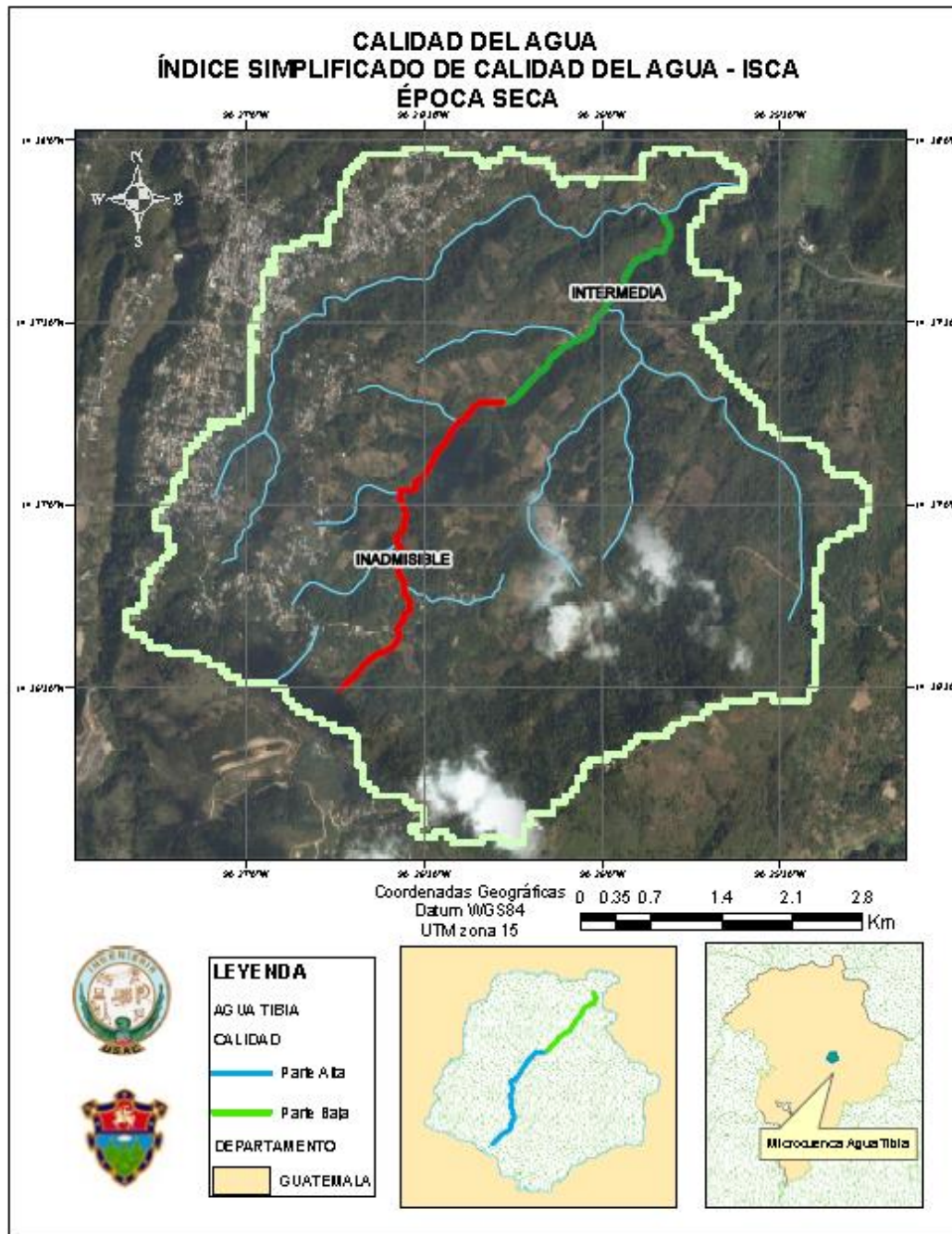
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia. Época lluviosa. Índice ISCA.



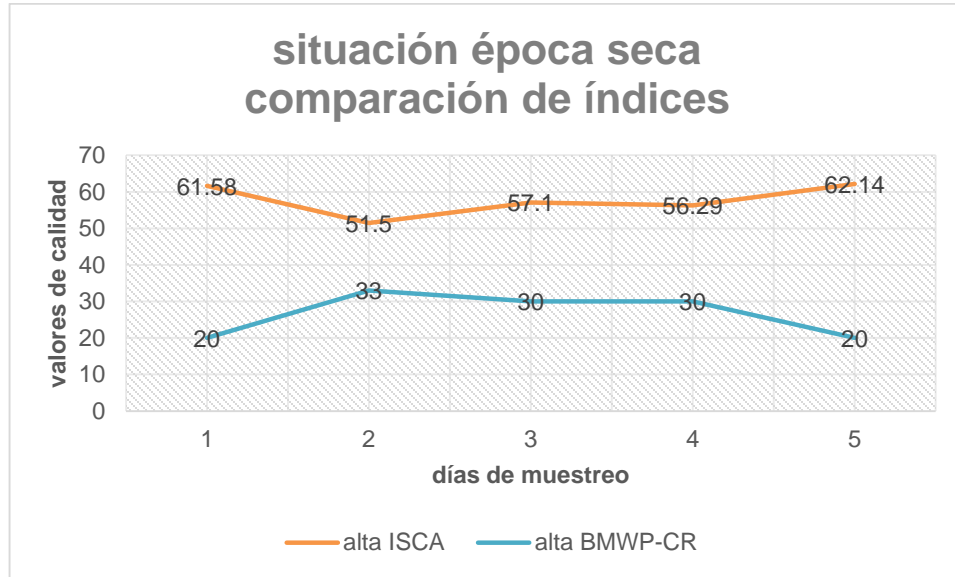
Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.

Figura 7. Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia. Época seca. Índice ISCA.



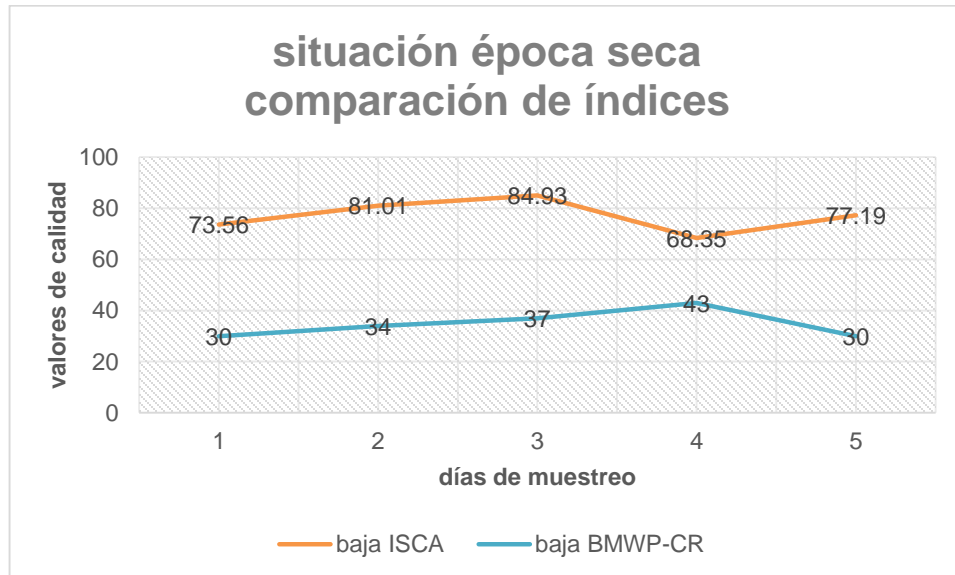
Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.

Figura 8. **Situación época seca parte alta. Comparación gráfica de índices.**



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Situación época seca parte baja. Comparación gráfica de índices.**



Fuente: elaboración propia.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La investigación del proyecto se centró en la estimación de la calidad ambiental del agua de la microcuenca del río Agua Tibia localizado en la zona 24 de la jurisdicción municipal de Guatemala. Se realizó ponderaciones numéricas que encasillan la calidad del agua mediante dos diferentes índices de medición: el índice biótico, *Biological Monitoring Working Party*, conocido por sus siglas BMWP-CR adaptado para Costa Rica se implementó, juntamente con el índice fisicoquímico índice simplificado de calidad del agua o ISCA.

Los índices demarcan una distinción entre sí: uno al ser medido por la presencia de vida de macroinvertebrados bentónicos listados y el otro por el comportamiento fisicoquímico del agua debido a la contaminación existente, puesto que no evalúan los mismos parámetros miden de manera diferente los factores a los que el ambiente se encuentra sometido; sin embargo, ambos califican la calidad del agua. Dependerá de los resultados, las acciones y prioridades de las instituciones, autoridades y comunidades, las decisiones a tomar en cuenta para satisfacer las necesidades y destinar el uso más conveniente de las fuentes de recurso hídrico.

Los resultados acumulados en los muestreos realizados tanto en época lluviosa como seca, advierten sobre la necesidad de investigar la situación de las demás microcuencas pertenecientes al Municipio de Guatemala y del país en general, ya que evidencian la presencia de contaminación en la microcuenca del río Agua Tibia.



El análisis que se llevó a cabo con el índice biótico ha sido por mucho el índice más representativo de la calidad del agua se estudió desde el punto de vista medioambiental ya que éste es valuado a partir de la presencia de macroinvertebrados bentónicos; los cuales han sido identificados hasta nivel de familia para ser encasillados dentro de un nivel de calidad de agua, como lo especifica el índice BMWP-CR. Los niveles de calidad del agua van desde los valores menores de 15, aguas de calidad muy mala o extremadamente contaminadas, hasta mayores de 120, aguas de calidad excelente.

La calidad del agua para las épocas lluviosa y seca se muestreó en la parte alta y baja de la microcuenca, para registrar la predisposición que presenta el agua al pasar de una época a otra. Si se amplifica que latería afirma que la presencia de familias se hace menor en la época lluviosa, como una tendencia esperada en caudales que incrementan su volumen a causa de las lluvias. Sin embargo, los resultados obtenidos para esta investigación identificaron a 21 familias presentes en época lluviosa y 20 en época seca, debido a las condiciones climatológicas del país, con lluvias y lloviznas aisladas como transición entre la época lluviosa y seca.

El conteo de macroinvertebrados bentónicos para la época lluviosa ha encasillado el cauce principal de la microcuenca como calidad mala, en los muestreos realizados en la parte alta y baja. La parte alta de la microcuenca estimó los números BMWP de 44, 29, 36, 8 y 30 de las cinco muestras que se tomaron dando un promedio de 29.4. Para la parte baja se utilizó el mismo procedimiento y proyectó los números BMWP de 37, 31, 40, 34, 19 con el promedio de 32.5, que, si bien aumenta con respecto a la parte alta, no es lo suficientemente bueno para elevar la clasificación del agua (Figuras 4 y 5, gráficas de dispersión de los datos).

Mediante la identificación de los macroinvertebrados bentónicos encontrados en la época seca, se calificó nuevamente la microcuenca con calidad mala, donde los números BMWP en la parte alta fueron 20, 33, 30, 30, 20 con el promedio de 26.6 y para la parte baja se presentó los números BMWP30, 34, 37, 43, 30 con el promedio de 34.8. Igualmente presenta la característica de aumentar su valor numérico en la parte baja (figura 8 y 9, gráficas de dispersión de los datos).

El nivel de calidad mala de un afluente hídrico, que se encuentra entre los números BMWP 16 – 35, son fuentes muy contaminadas y al tratarse de una microcuenca localizada en el municipio de Guatemala se infiere que la contaminación es debido a la urbanización que colinda al cauce del río; además del arrastre de contaminantes en el suelo transportados por la escorrentía superficial y la presencia de desechos sólidos en la parte alta de la cuenca, ya que está más próxima a la población de la zona. Los niveles de calidad del agua se representan gráficamente mediante mapas situacionales de los resultados obtenidos con el índice biótico, para cada época (véase figura 2 y 3).

Se propuso el uso del índice simplificado de calidad del agua (ISCA) para determinar si existe nivel de comparación ente ambos índices. Por su parte, el índice ISCA utiliza el análisis de cinco parámetros fisicoquímicos demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, temperatura, sólidos suspendidos totales y conductividad eléctrica; dichos parámetros se establecen entre intervalos con correcciones antes de la utilización de la fórmula del índice (fórmula 1, pág. 31) la cual consiste en la sumatoria de los literales A, B, C y D corregidos, para demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica respectivamente; las cuales son multiplicados por el literal T de temperatura (véase procedimiento completo págs. 31 y 32).El índice

pondera un valor de calidad de agua que presenta valores de 0 a 100, donde 0 representa una categoría inadmisibles de calidad y 100 categoría excelente.

Los resultados de los muestreos de la época lluviosa para la parte alta de la microcuenca en los cinco muestreos 52.83, 47.07, 82.07, 73.72 y 85.17 con un valor promedio de 68.17 clasifica al agua como admisible en el limbo para calificar como intermedia. Esto significa que la calidad del agua es frecuentemente afectada y esas condiciones a menudo no cumplen con los niveles deseados. En el caso de la parte baja la condiciones mejoran a calidad buena con valores de 72.03, 82.12, 89.24, 86.87 y 79.79 con un promedio de 82.13; por tanto, la calidad del agua se encuentra protegida contra un menor grado de amenazas, las condiciones rara vez se apartan de los niveles naturales o deseados.

La época seca evaluada con el índice ISCA desplegó los valores 61.58, 51.5, 57.1, 56.29 y 62.14 con un promedio de 57.92 en la parte alta de la microcuenca; y 77.01 de promedio en la parte baja, de los valores 73.56, 81.01, 84.93, 68.35 y 77.19 de promedio lo que corresponde a una calidad inadmisibles e intermedia respectivamente de cada uno. La calidad inadmisibles en la parte alta evidencia que el agua es continuamente afectada y las condiciones no cumplen con los niveles deseados; sin embargo, la parte baja se regenera al ser frecuentemente afectada con condiciones que a veces no cumplen con los niveles esperados.

Al estudiar los valores BMWP e ISCA encontrados tanto en la época lluviosa como seca, se determina que la calidad del agua se deteriora más en la época seca. Como evidencia de ello se observa la degradación del nivel de calidad que demuestran los resultados anteriormente descritos. Además, no se debe perder de vista que se reduce igualmente la cantidad de familias de

macroinvertebrados bentónicos de una época a otra; ya que aparecen familias medianamente más resistentes a la contaminación en la época seca.

Las figuras 4 y 5 muestran las tendencias de cada índice en la época lluviosa en la parte alta y baja respectivamente. La parte alta con el índice ISCA manifiesta una tendencia de la curva mayormente ascendente, con poca variabilidad en los últimos tres muestreos para la época; por su parte el índice BMWP-CR, muestra una decadencia en el valor de calidad del agua, con el valor mínimo en el muestreo del día 4; el muestreo en el día 3 presenta el segundo valor mayor de calidad del agua, para ambos índices. En la parte baja con el índice ISCA se pauta una tendencia de menor a mayor, con el pico en el muestro del día 3; la representación con el índice BMWP-CR es mayormente descendente encontrando el menor valor en el muestreo del día 5. Si se considera el día 3 como punto de comparación, este muestreo es el de mayor valor de calidad del agua para ambos índices en la parte baja.

La época seca se compara en las figuras 8 y 9 con las gráficas para ambos índices en la parte alta y baja respectivamente. La situación que se plasma en la parte alta es contraria de un índice a otro: los valores más bajos de calidad del agua que presenta el índice BMWP-CR en los días de muestreo 1 y 5, son los de mayor valor de calidad del agua en el índice ISCA. Para la parte baja la tendencia para el índice BMWP-CR es ascendente hasta el muestreo del día 4 donde presenta el mayor valor de calidad del agua y decae nuevamente en el día 5; de igual forma se presenta una ascendencia en el índice ISCA, con la diferencia que éste decae en el día de muestreo 4, el cual muestra el mayor valor de calidad del agua en el día 3 para volver a subir la calidad del agua en el día 5.

Al realizar las comparaciones gráficas entre cada índice para las dos épocas de estudio, cada uno en parte alta y baja, se concluye que no siempre existirá una coincidencia en los valores de calidad del agua puesto que no conducen una misma tendencia dentro de una misma época ni de la utilización de un índice a otro. Se debe tomar especial importancia a la utilización de índices simultáneos para objeto de investigación ya que cuando el índice fisicoquímico con muestreos simples y puntuales es más permisible a ponderar con mejores calidades del agua, el índice biótico tiene más precisión y es más exigente en cuanto a calificar una calidad del agua. El índice biótico mide con base en la presencia de los macroinvertebrados y representa una realidad de la biodiversidad que se encuentra en el entorno, que algunas veces se debe a que éste es naturalmente estable. Pero en este caso de estudio solo las familias de macroinvertebrados que se encontraron han asimilado las condiciones de contaminación en que se encuentra la microcuenca; por esa razón los valores de calidad del agua en el índice biótico están muy por debajo del índice fisicoquímico.

## 6. LOGROS OBTENIDOS

- Se identificó un total de 27 familias de macroinvertebrados bentónicos al realizar el conteo final de la época lluviosa y la época seca.
- Se implementó el índice *Biological Monitoring Working Party* BMWP-CR para calificar la calidad del agua a partir de la identificación de las familias de macroinvertebrados bentónicos.
- Se ejecutó efectivamente el índice simplificado de calidad del agua ISCA para ponderar la calidad del agua.
- La calidad ambiental del agua se calificó para las épocas lluviosa y seca, específicamente para la parte alta y baja de la microcuenca del río Agua Tibia.
- Se elaboró un mapa de cada día muestreado de la época lluviosa y seca en representación de la calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia en cada día de muestreo realizado para alimentar la base de datos de la Municipalidad de Guatemala.



## CONCLUSIONES

1. Las ponderaciones de 26.6 y 34.8 con el índice BMWP-CR, clasificaron la calidad del agua en la época seca como calidad mala en parte alta y baja.
2. En la época lluviosa calificó como calidad mala en parte alta y baja, con ponderaciones de 29.4 y 32.2 respectivamente.
3. La valoración con el índice ISCA para la época seca fue de 58.9 en parte alta que es una calidad inadmisibles. En la parte baja como calidad intermedia con un valor de 78.
4. En la época lluviosa con el índice ISCA, se clasificó el agua como calidad admisible con el valor de 69.64 en la parte alta y 83.68 como calidad buena en la parte baja.
5. Las comparaciones entre ambos índices difieren debido a que el índice biótico BMWP-CR, estima una valoración por familia de macroinvertebrados acuáticos vivos y el índice fisicoquímico ISCA proporciona datos puntuales del comportamiento fisicoquímico del agua y los valora según el resultado del análisis, por tanto, no existe una tendencia de comparación a valor numérico.
6. Los datos obtenidos de los análisis efectuados con los índices BMWP-CR e ISCA se usaron para alimentar la base de datos de la Municipalidad de Guatemala.





## RECOMENDACIONES

1. Continuar con la creación de la línea base, con las condiciones ambientales de la microcuenca para establecer un monitoreo ambiental periódico.
2. Realizar una caracterización de la microcuenca que abarque sus componentes ambientales, sociales y económicos.
3. Establecer las fuentes potenciales de contaminación y las áreas vulnerables a la pérdida de biodiversidad.
4. Implementar un manejo de cuenca que valore, jerarquice y estime los impactos ambientales de las actividades, obras o industrias de la zona 24.
5. Hacer un plan de ordenamiento territorial que proponga establecer una conducción de las aguas residuales de tipo ordinarias y especiales a un posterior tratamiento para no descargar aguas crudas a los ríos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ABARCA MORALES, Henry. *El uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua*. Costa Rica: revista Biocenosis. Vol. 20, 2007. p. 95-104.
2. 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. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 113 p.
3. ALBA-TERCEDOR, Javier. *Macroinvertebrados acuáticos y calidad de aguas de los ríos*. Departamento de Biología Animal y Ecología. Universidad de Granada. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA). 1996. Vol. II: 203-213 p.
4. ECHARRIN, Luis. *Ciencias de la tierra y del medio ambiente*. Tema 11 Contaminación del agua. [en línea]. <<http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>> [Consulta: 30 de octubre de 2014].
5. MAFLA HERRERA, Maribel. *Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano Talamanca - Costa Rica*. 2005. 86 p.

6. Miliarium Aureum, S.L. Ingeniería Civil y Medio Ambiente. *Índices globales de calidad de las aguas*. [en línea]. <<http://www.miliarium.com/prontuario/IndicesCalidadAgua.htm>>. [Consulta: 27 de octubre de 2014].
7. Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica. *Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales*. Decretos No. 33903-MINAE-S. 09 marzo del 2007. 21 p. [en línea]. <<http://www.drh.go.cr/textos/Leyes/33903.pdf>> [Consulta: 30 de octubre de 2014].
8. QUERALT, Ramon. *Article: La Qualitat de Les*. 1981. Cataluña, España. 6 p. [en línea]. <<http://revistes.iec.cat/index.php/ciencia2/article/viewFile/118780/117535>> [Consulta: 20 de octubre de 2014].
9. RIVERA MÉNDEZ, Jorge. *Determinación de los índices de calidad y coeficientes cinéticos de auto depuración del agua, en la parte alta de la cuenca del río Naranjo, ubicada en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango*. Trabajo de graduación de Maestro en Ingeniería Sanitaria. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, 2008. 162 p.
10. ROLDAN PÉREZ, Gabriel. *Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad de agua*. Colombia: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2002. Volumen XXVI, No. 9. 387 p.

11. SERMEÑO CHICAS, J. M. et. al. *Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010)*. Editorial Universitaria UES, El Salvador. Editorial Universitaria UES, 2010.
12. URL & Instituto de Incidencia Ambiental. *Situación del recurso hídrico en Guatemala: Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas - FCAA-, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente - IARNA-, 2005. 32 p.*
13. ZELADA, Juan Antonio. *Informe de investigación: análisis de la riqueza, composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en los ríos Pampumay y Pansalic-Panchiguajá*. Guatemala: Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán - AMSA-. 2011 a enero 2012. 51 p.



## APÉNDICES

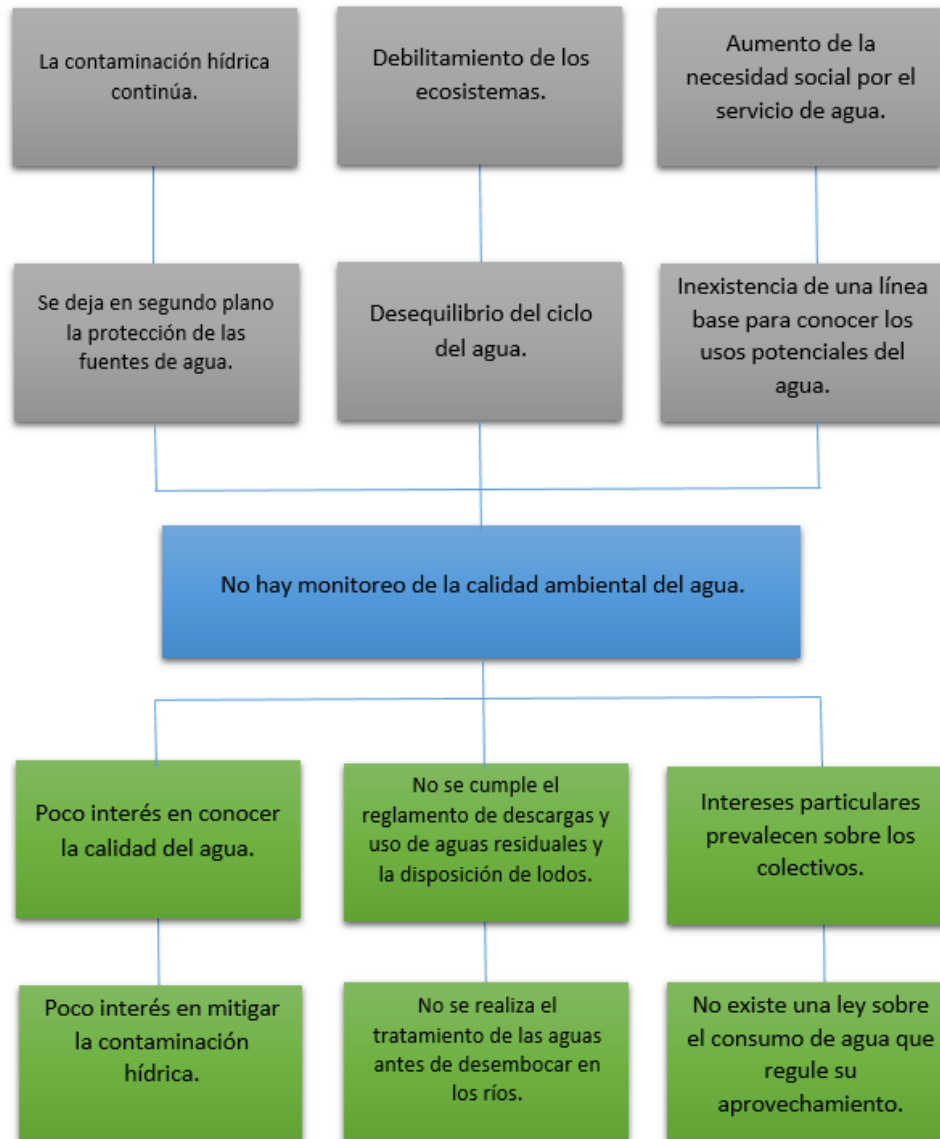
Apéndice 1. **tabla de requisitos académicos**

Área	Cursos	Temas
<b>Ambiental</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad del agua</li> <li>• Climatología</li> <li>• Manejo de cuencas</li>   <li>• Taller de sistemas de información geográfica</li> <li>• Legislación ambiental 1 y 2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índices de calidad del agua</li> <li>• Ciclo del agua</li> <li>• Caracterización de una cuenca</li>   <li>• Sistemas de información geográfica</li> <li>• Leyes y reglamentos que intervienen en el recurso hídrico</li> </ul>
<b>Hidrología</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrología</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuencas hidrográficas</li> </ul>
<b>Química</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microbiología</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso del estereoscopio para identificación de macroinvertebrados</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

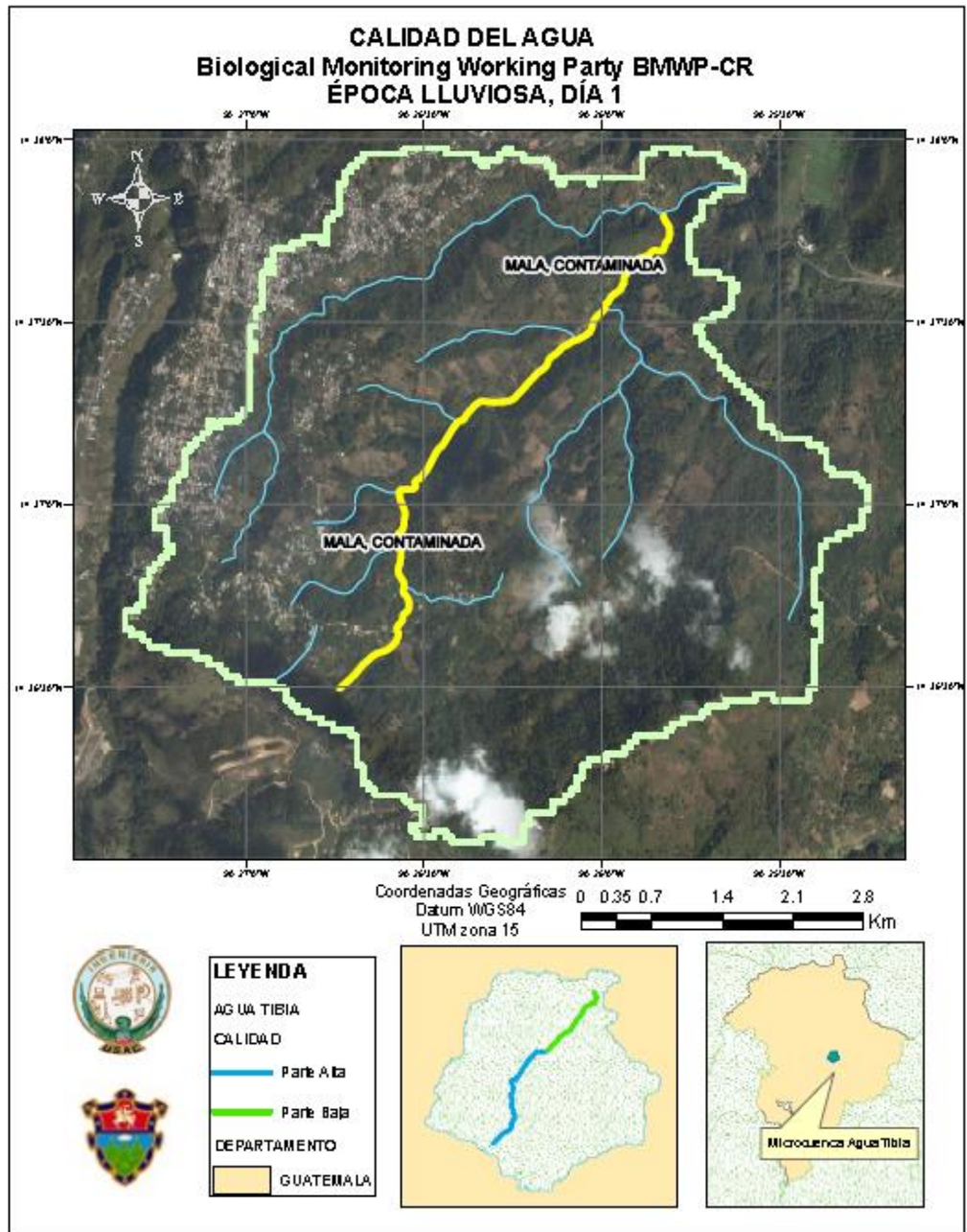


## Apéndice 2. árbol de problema



Apéndice 3. mapas situacionales época lluviosa. Índice  
bmwp-cr

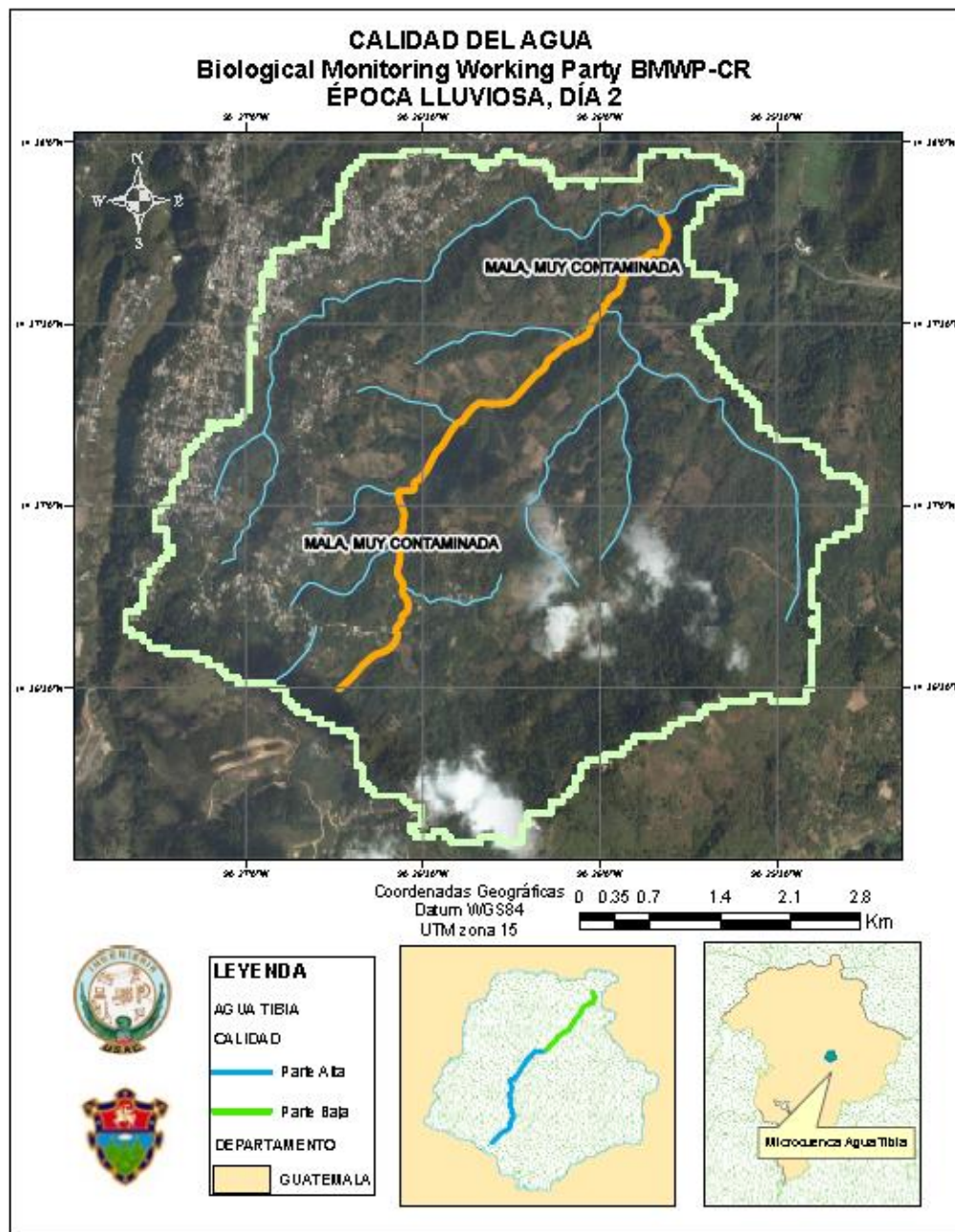
- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 1



Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.

Continuación del apéndice 3.

- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 2

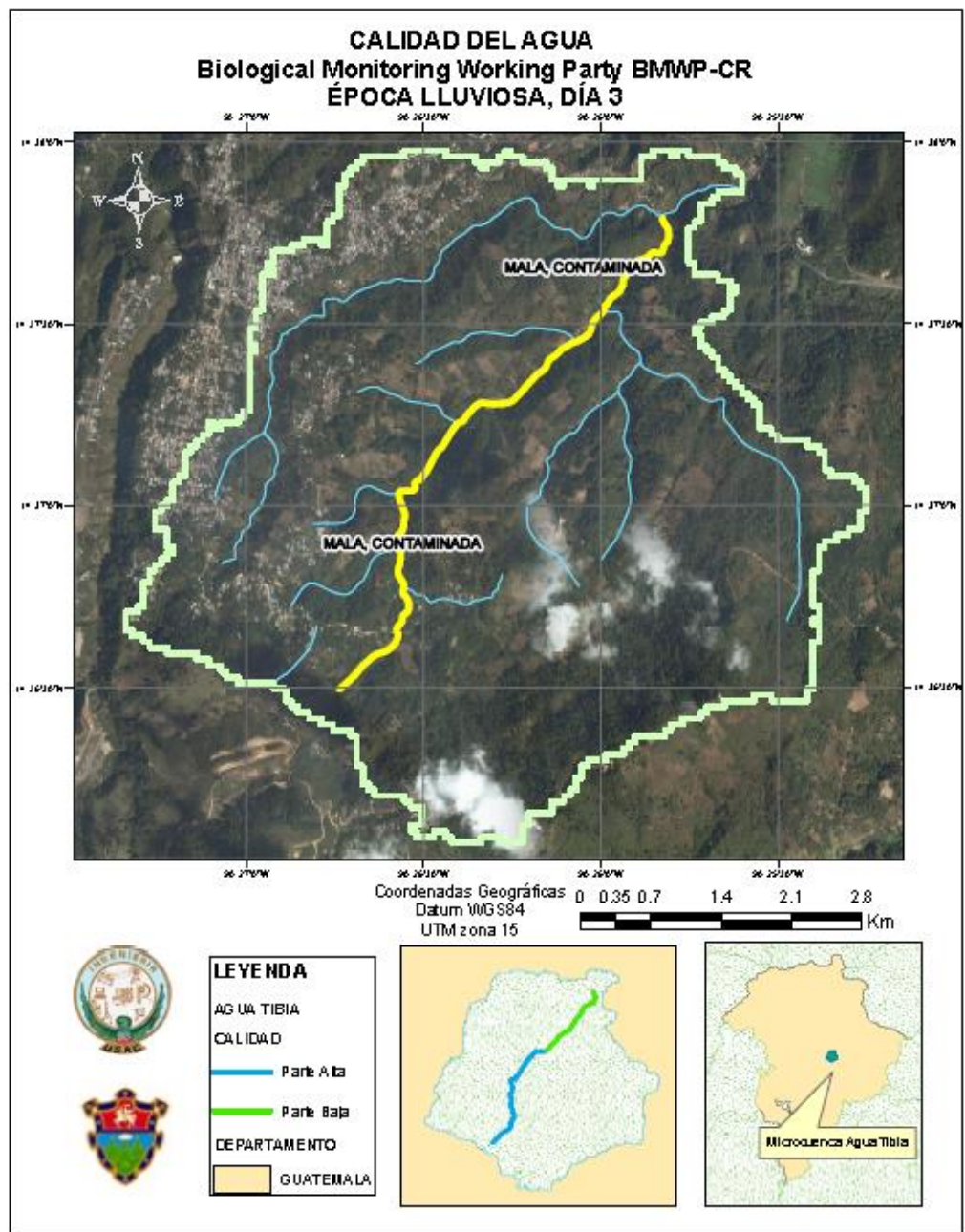


Fuente: elaboración propia, programa ArcGis 10.



Continuación del apéndice 3.

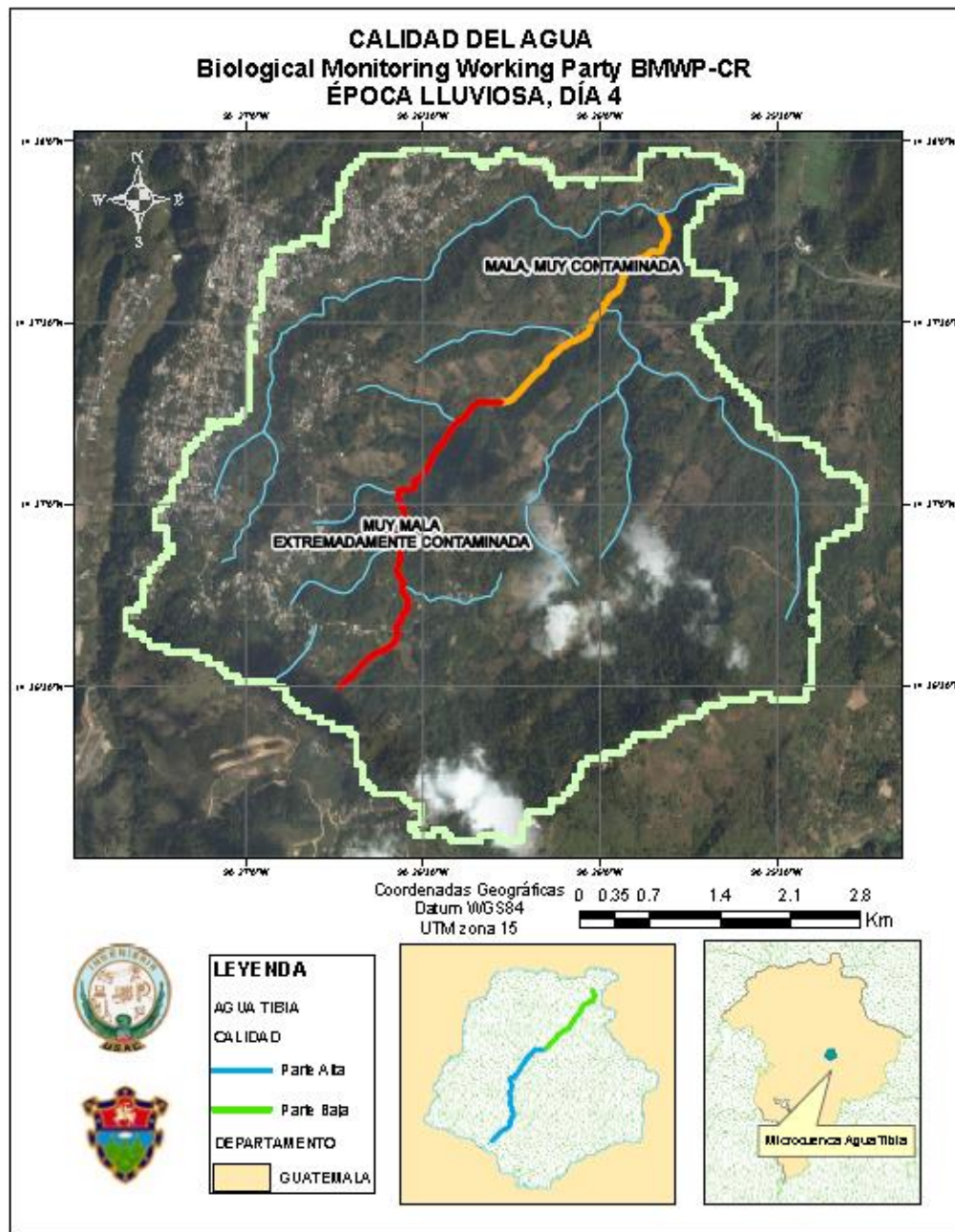
- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 3



Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.

Continuación del apéndice 3.

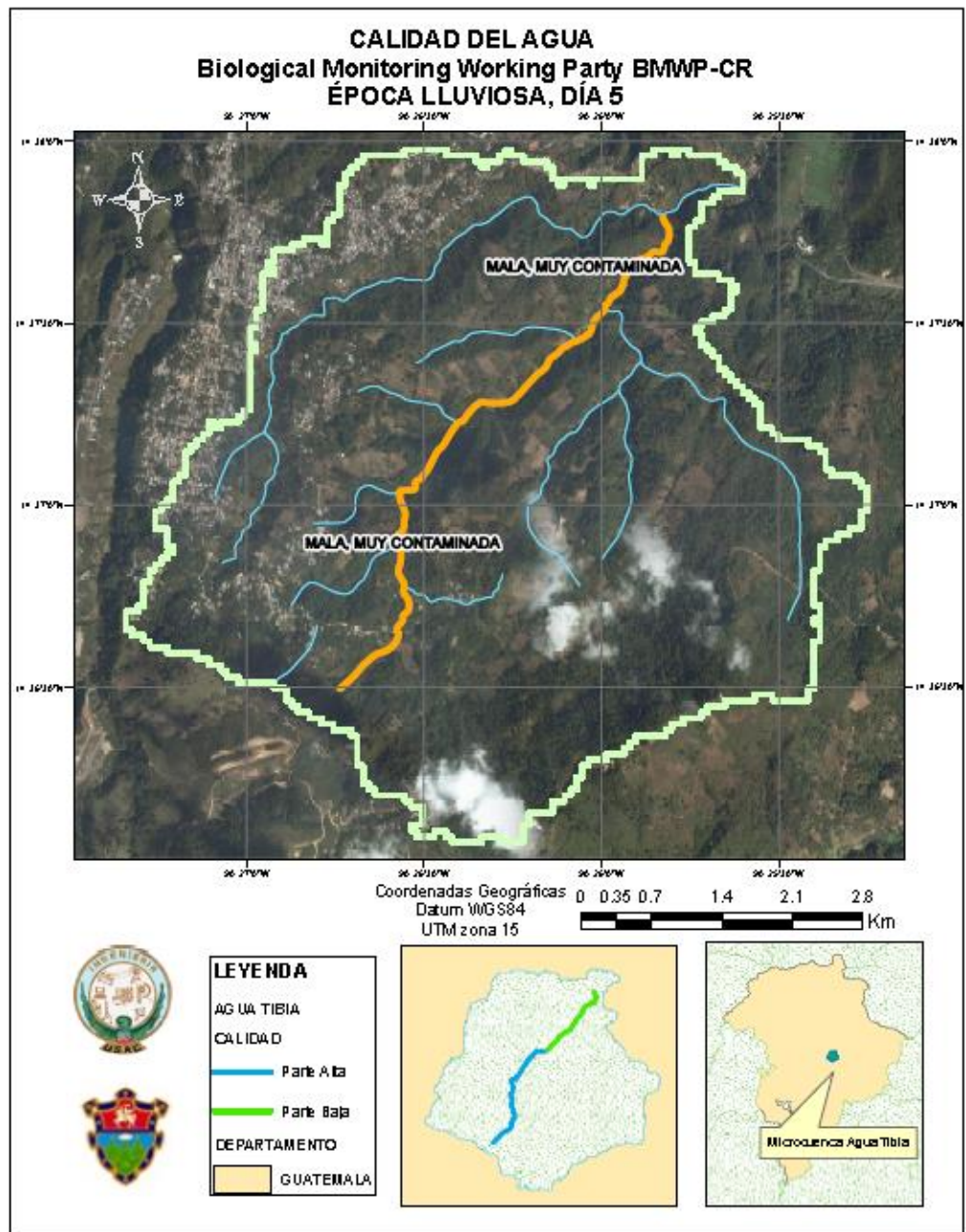
- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 4



Fuente: elaboración propia, programa ArcGis 10.

Continuación del apéndice 3.

- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 5

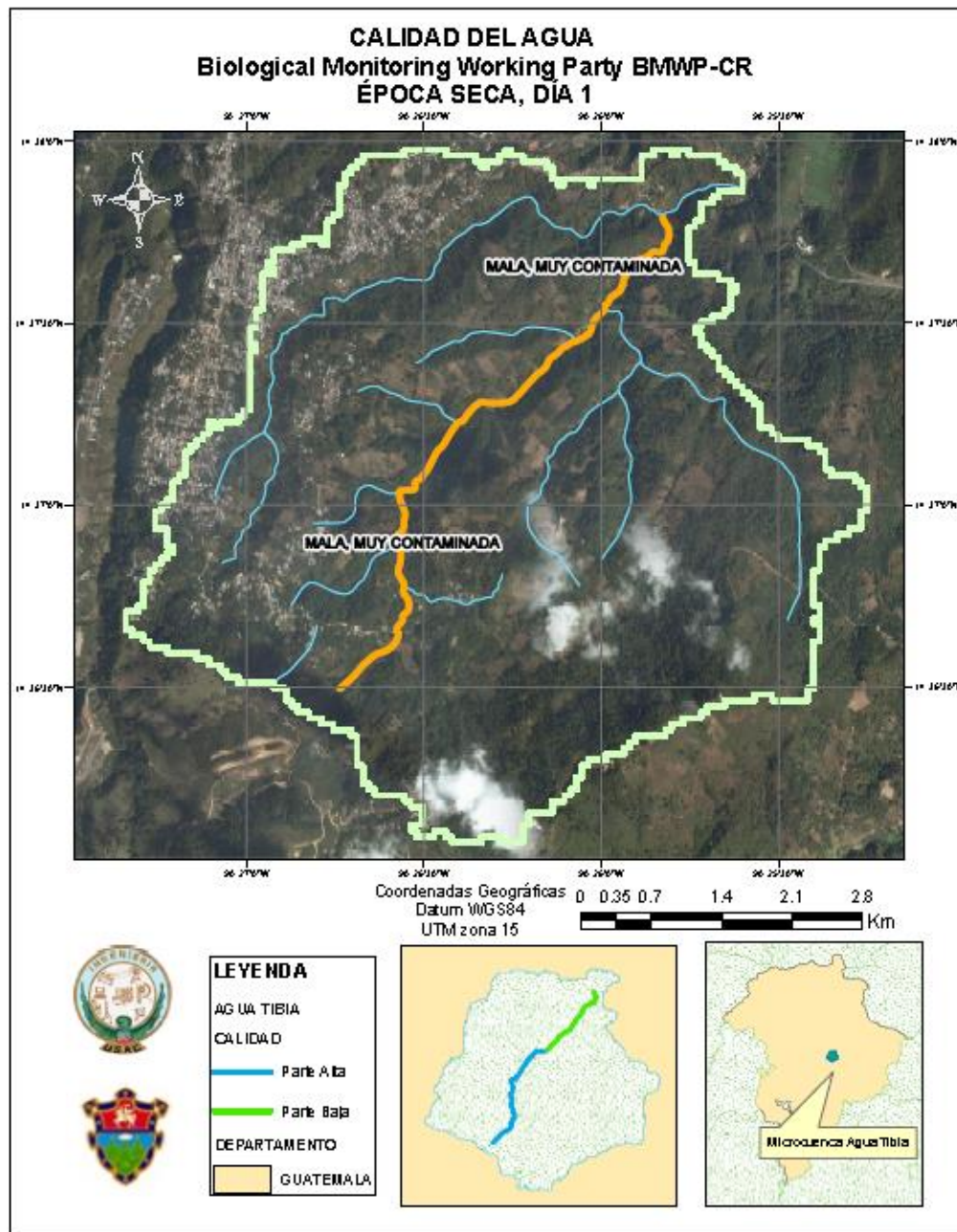


Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.



#### Apéndice 4. mapas situacionales época seca. Índice bmwp-cr

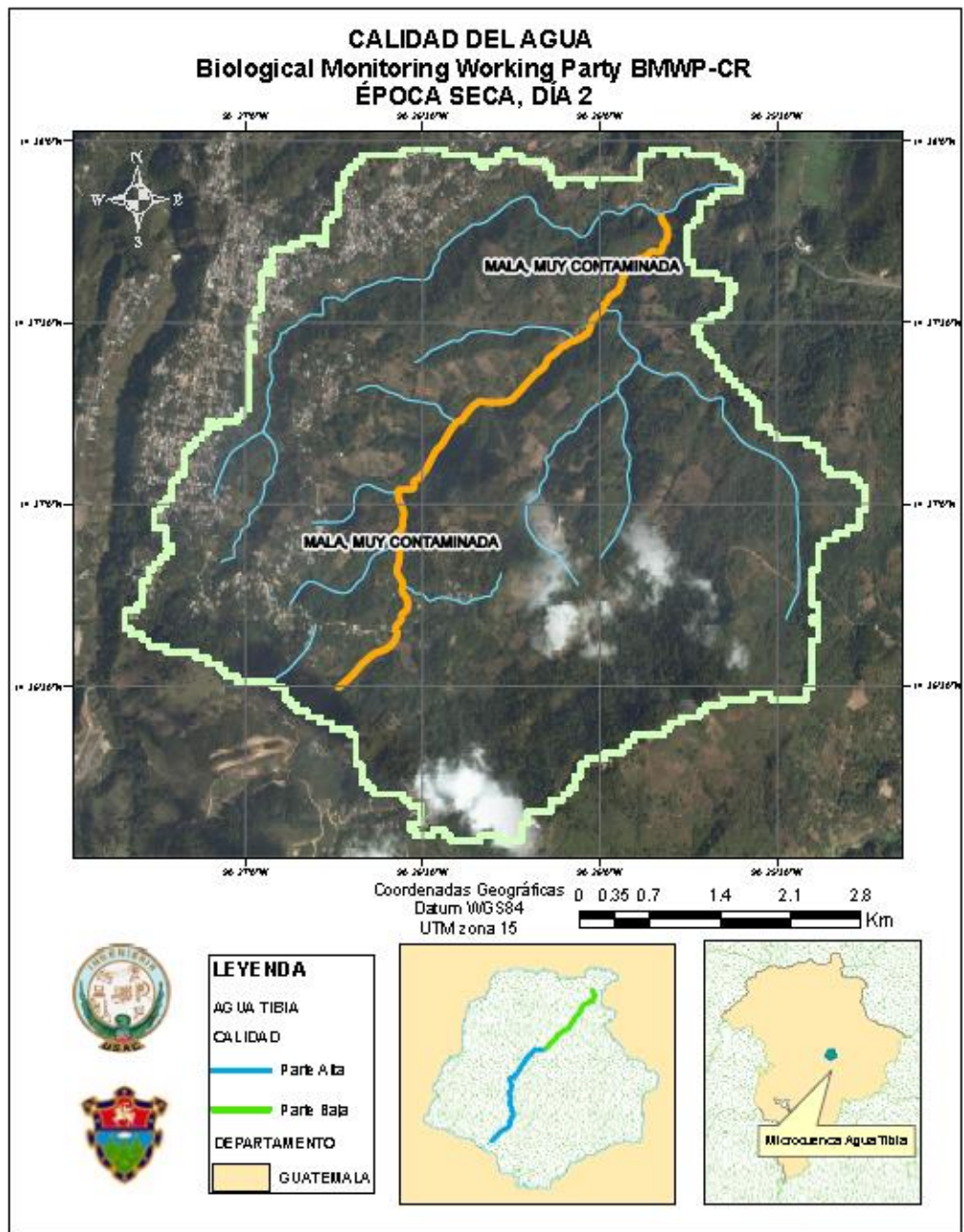
- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 1



Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.

Continuación del apéndice 4.

- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 2

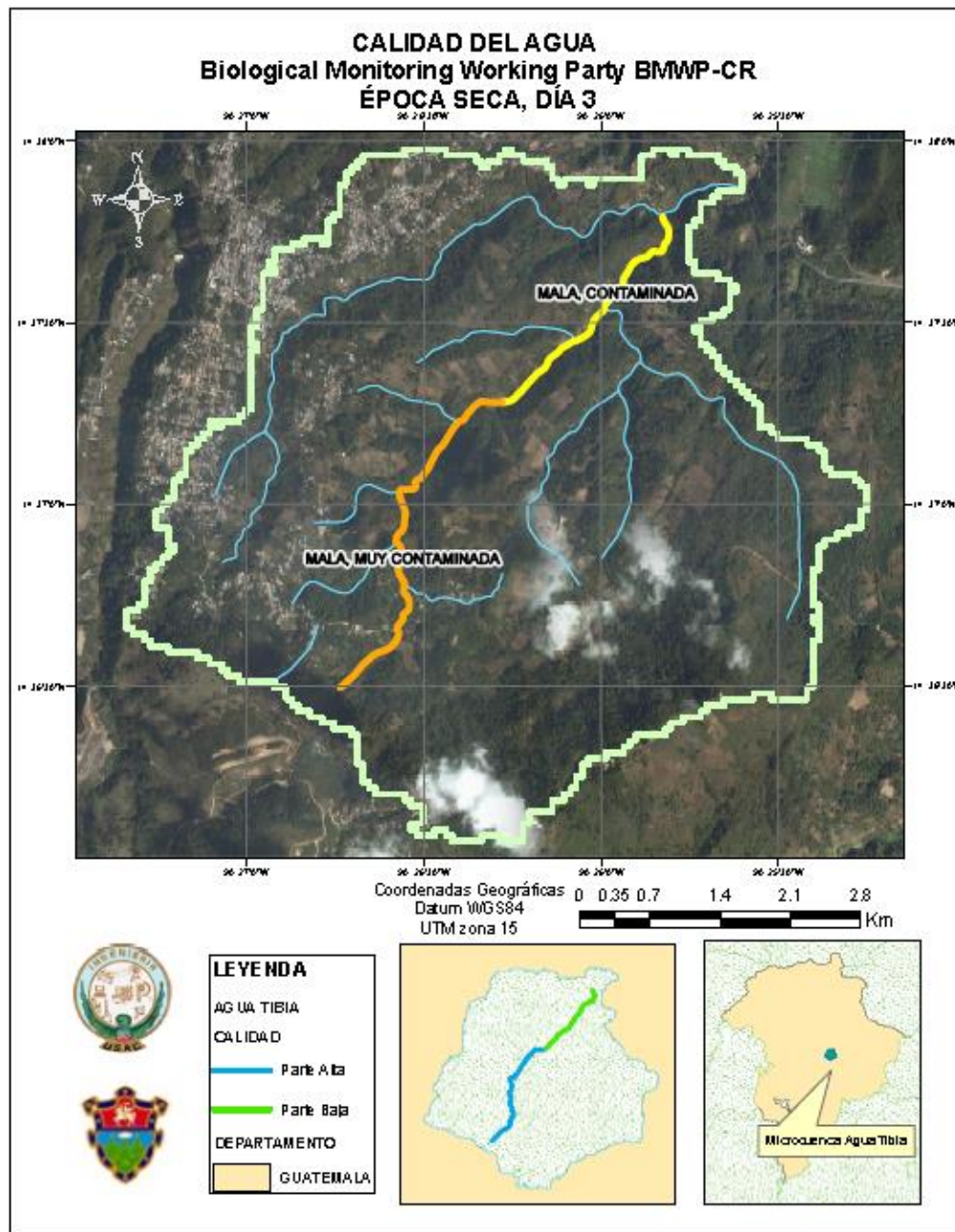


Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.



Continuación del apéndice 4.

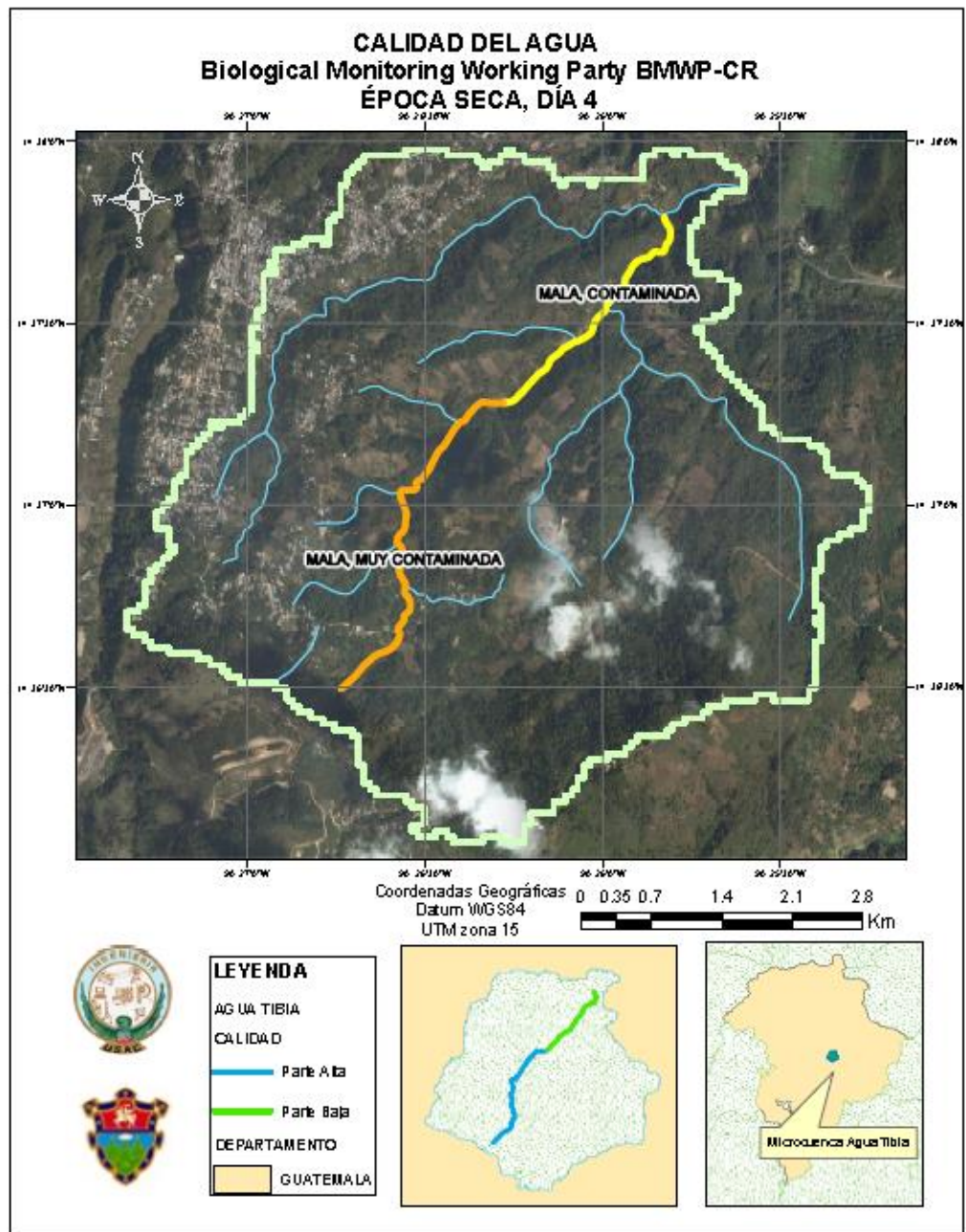
- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 3



Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.

Continuación del apéndice 4.

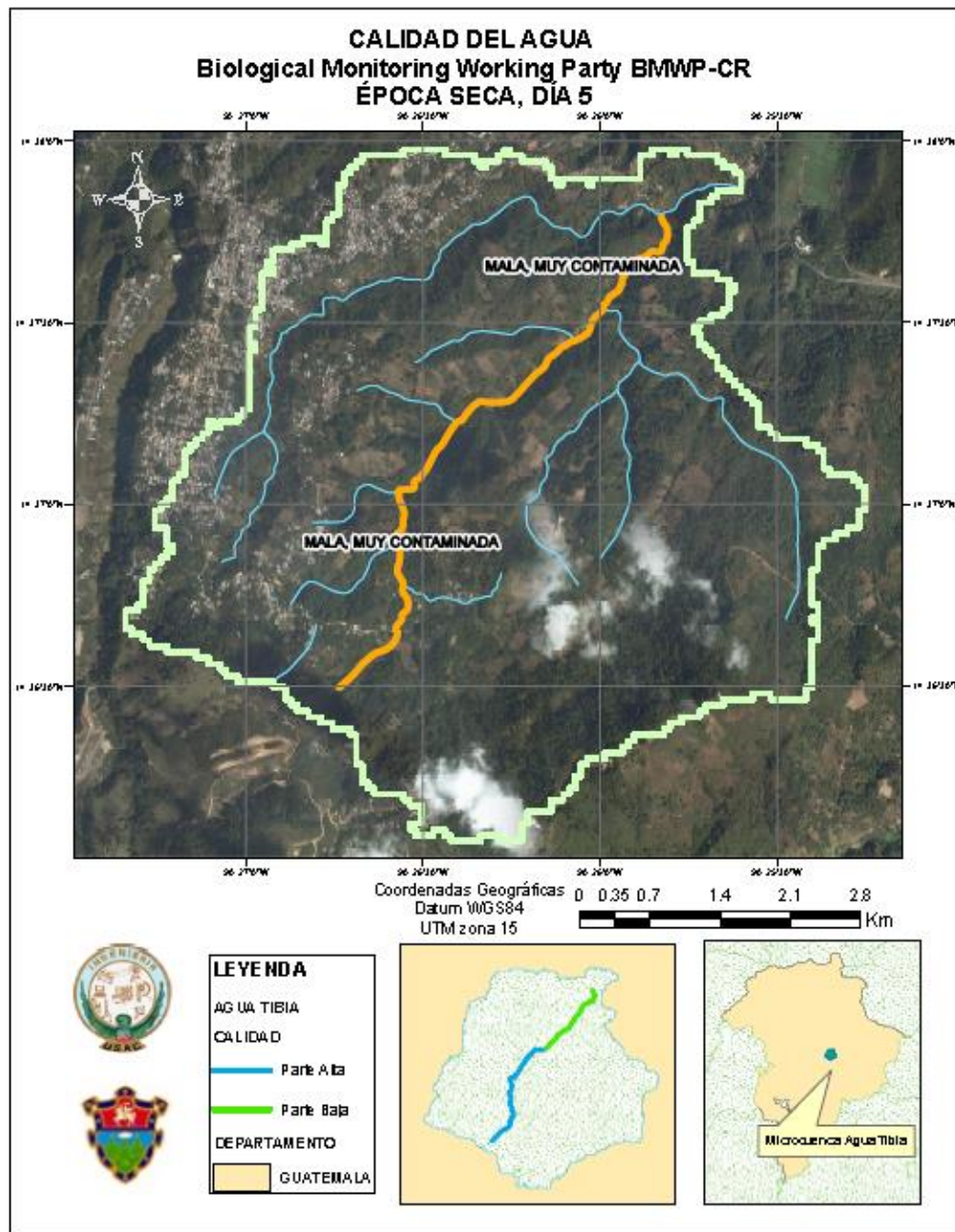
- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 4



Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.

Continuación del apéndice 4.

- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 5

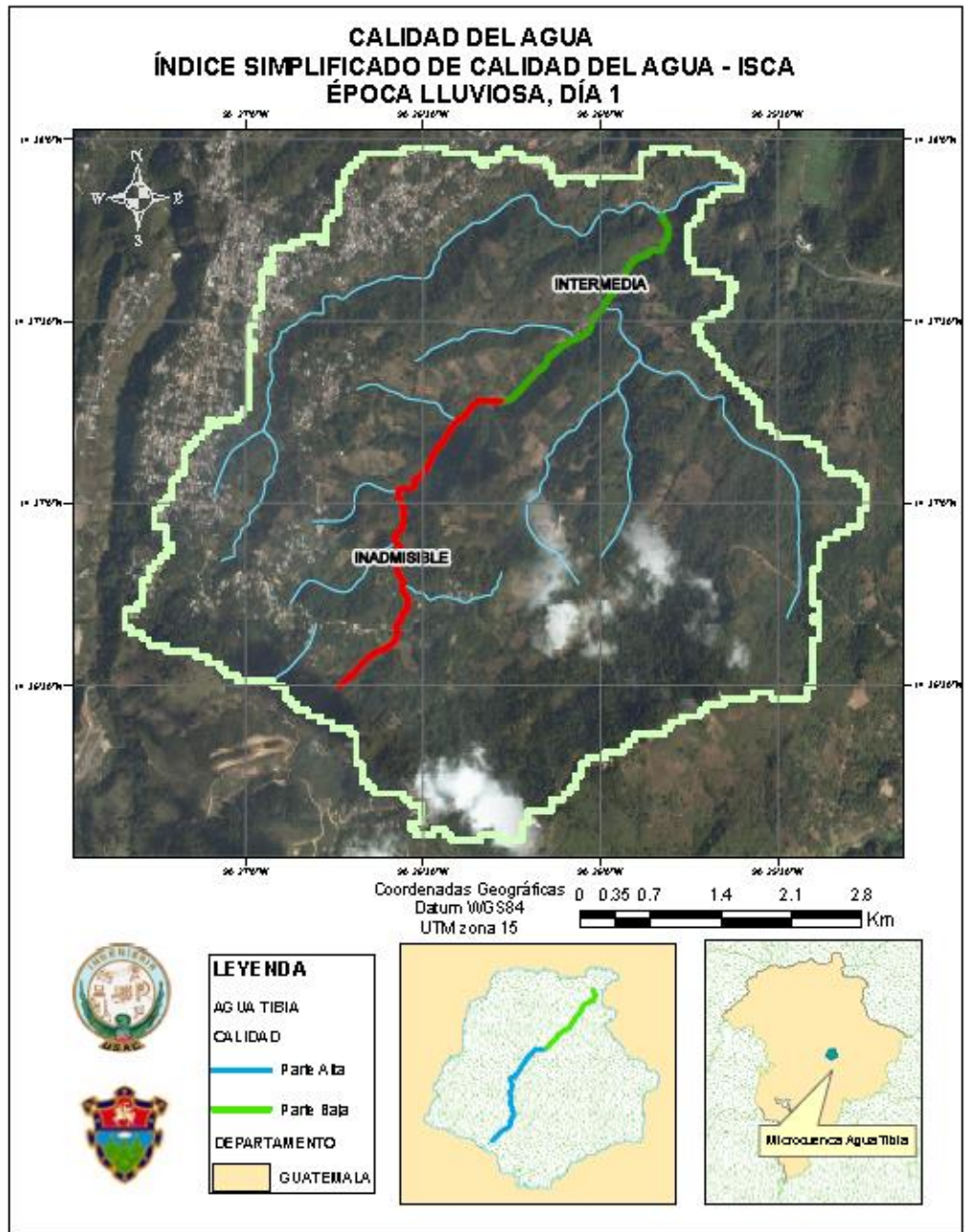


Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.



## Apéndice 5. mapas situacionales época lluviosa. Índice ISCA

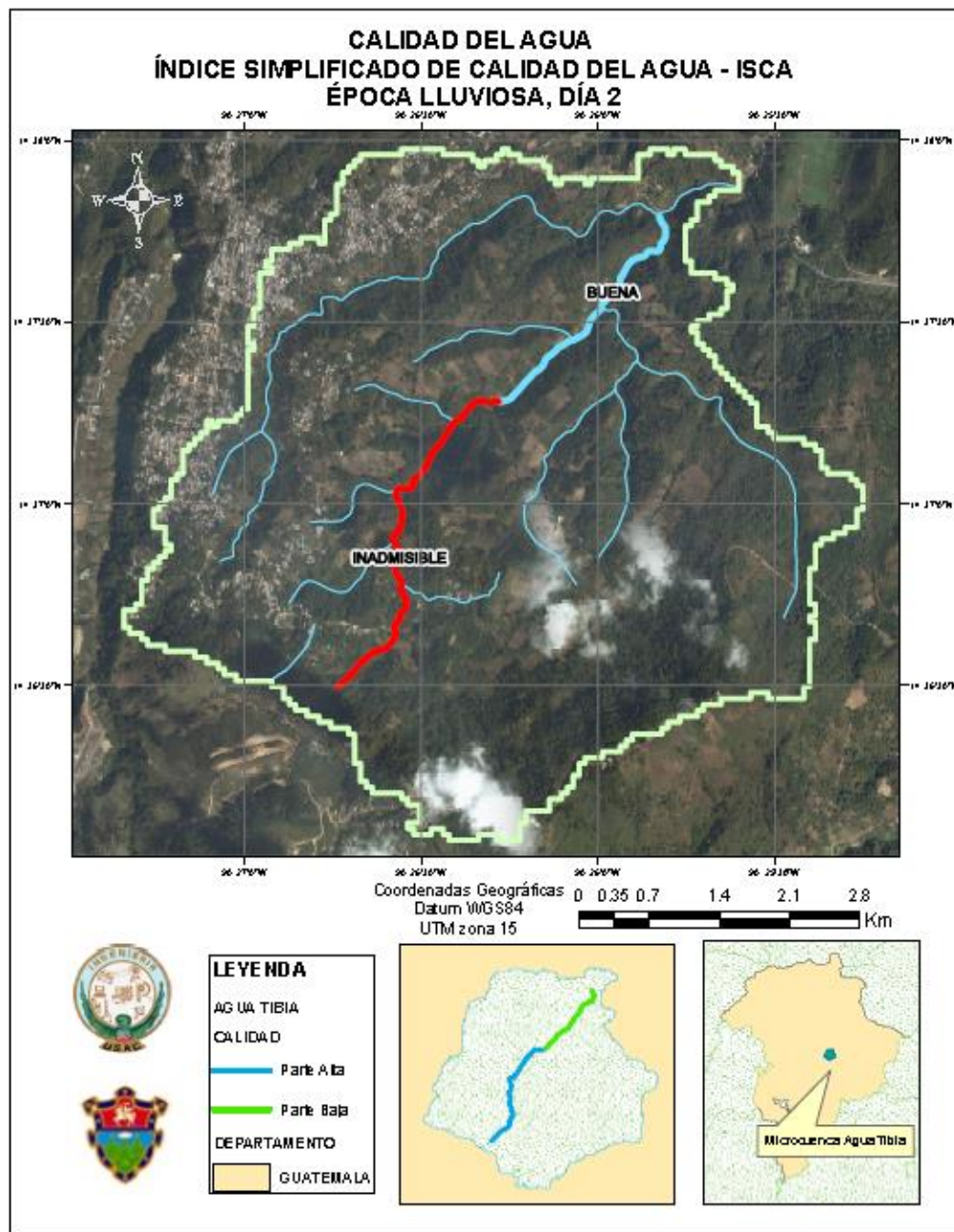
- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 1



Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.

Continuación del apéndice 5.

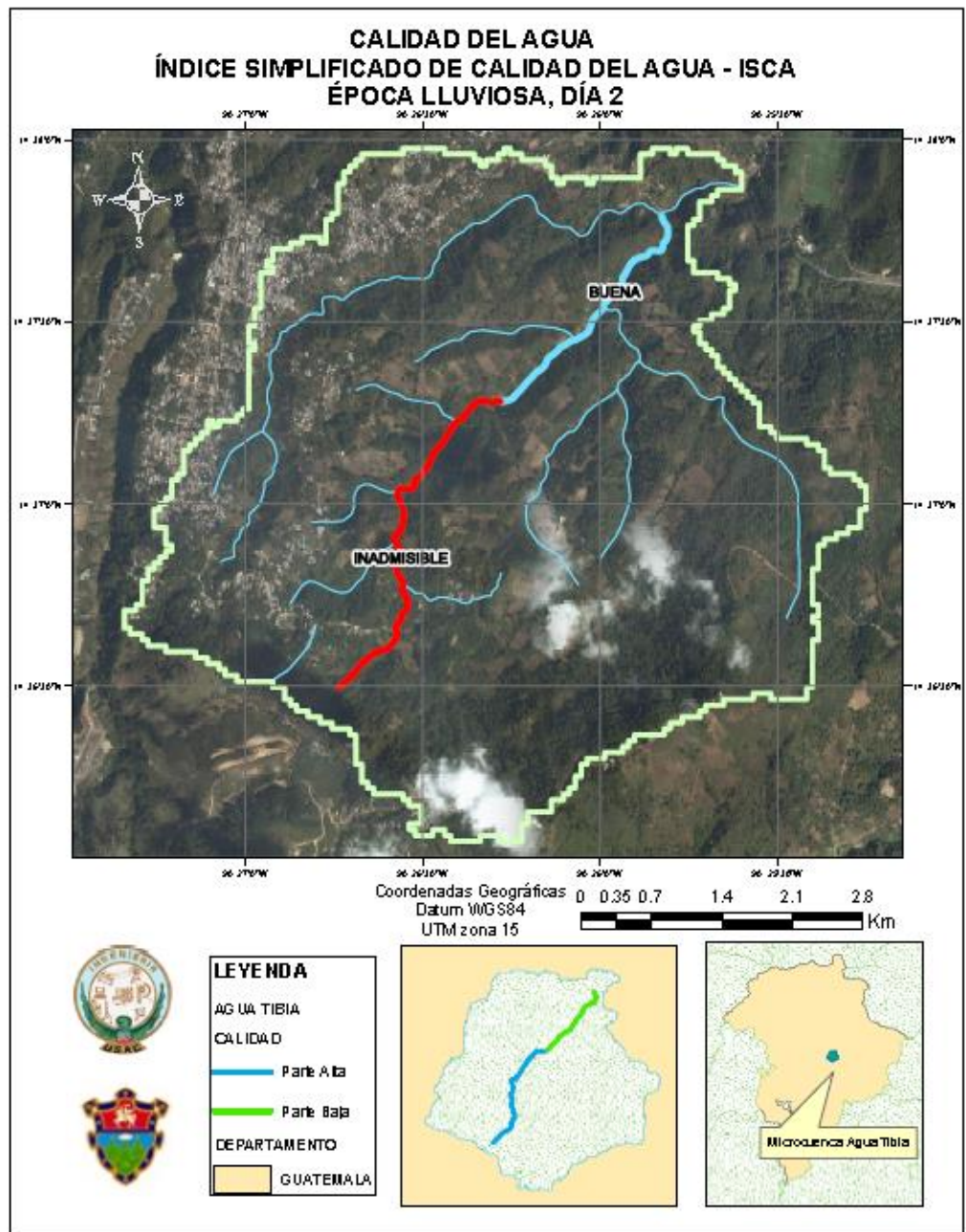
- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 2



Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.

Continuación del apéndice 5.

- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 3

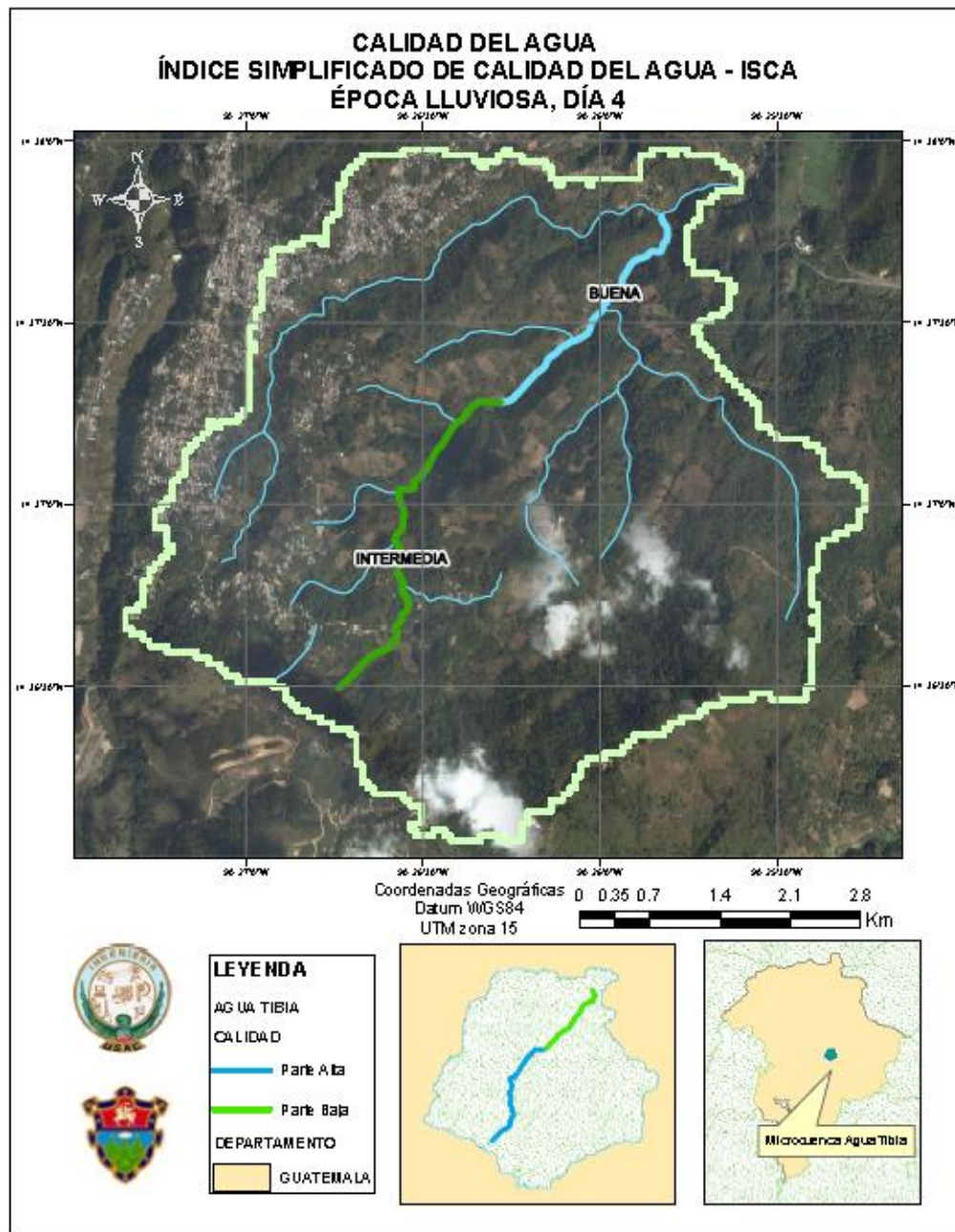


Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.



Continuación del apéndice 5.

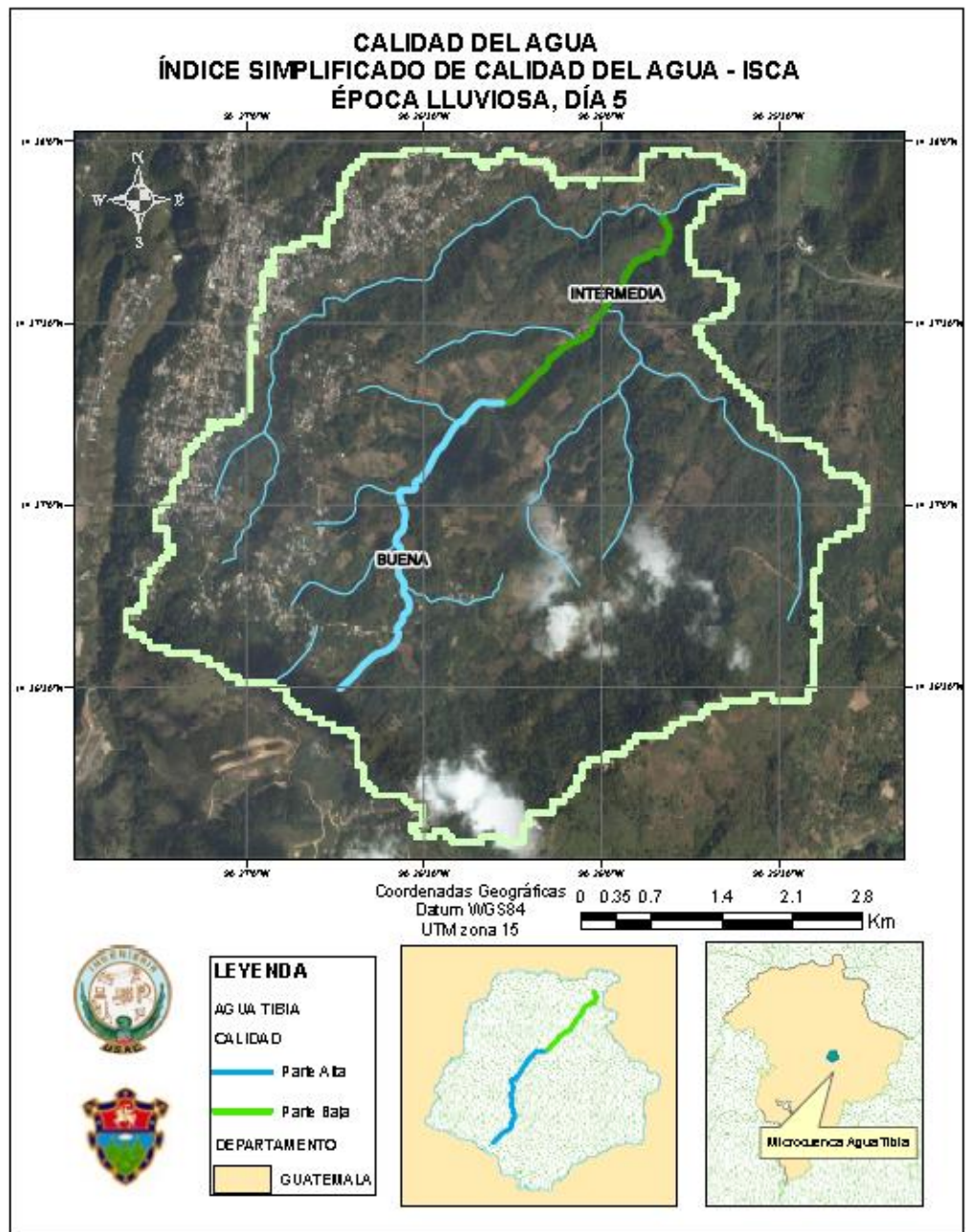
- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 4



Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.

Continuación del apéndice 5.

- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 5

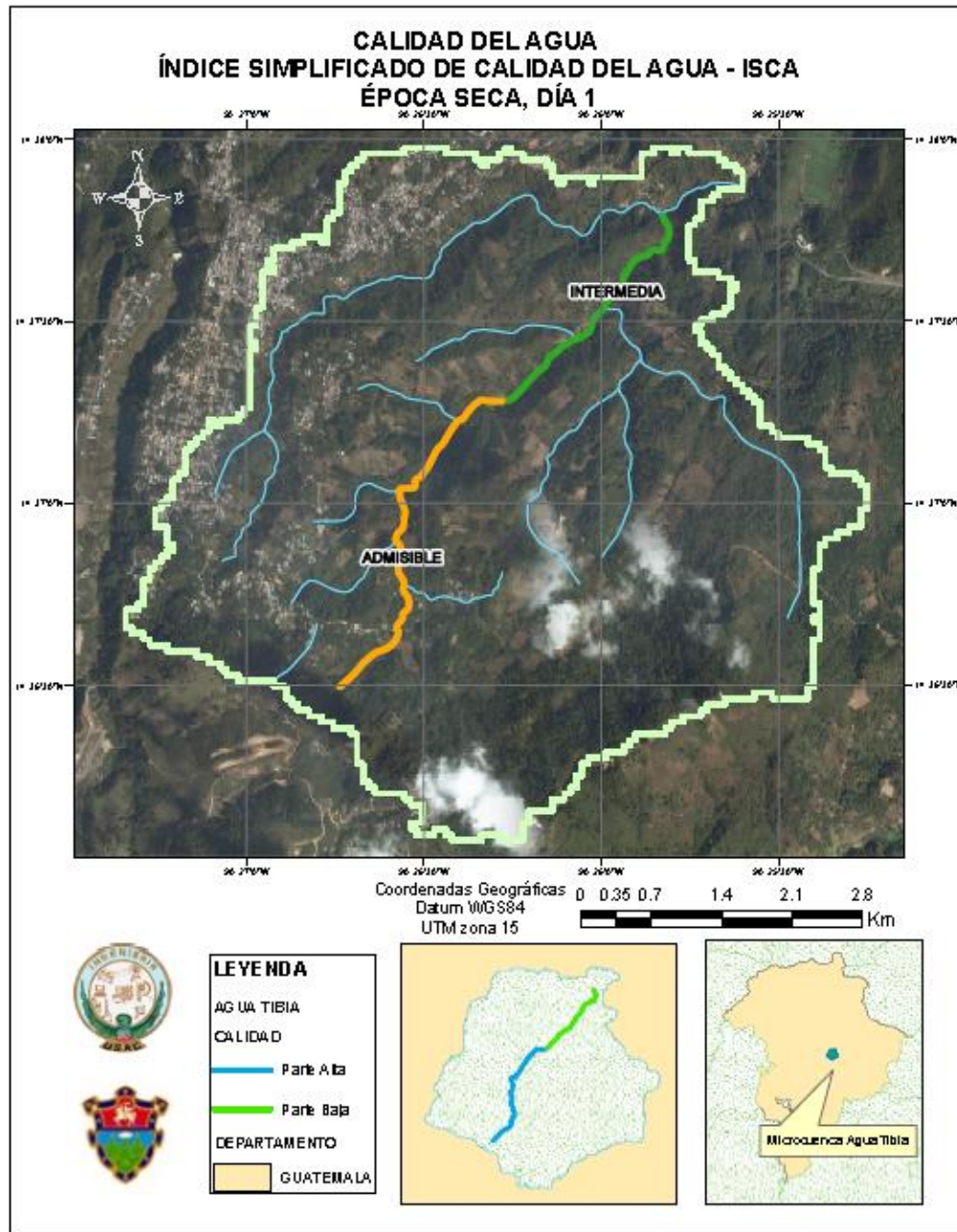


Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.



## Apéndice 6: mapas situacionales época seca, índice ISCA

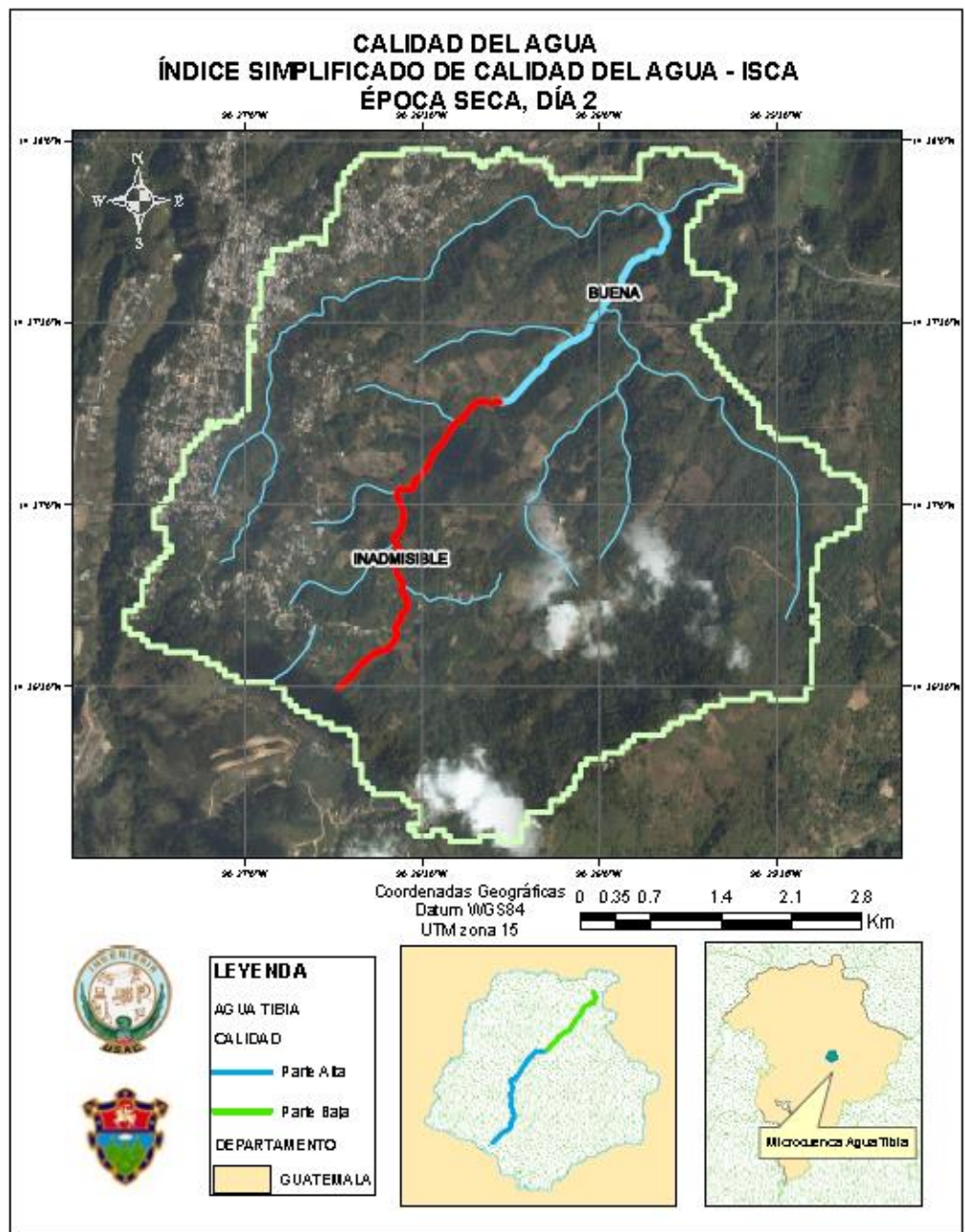
- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 1



Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.

Continuación del apéndice 6.

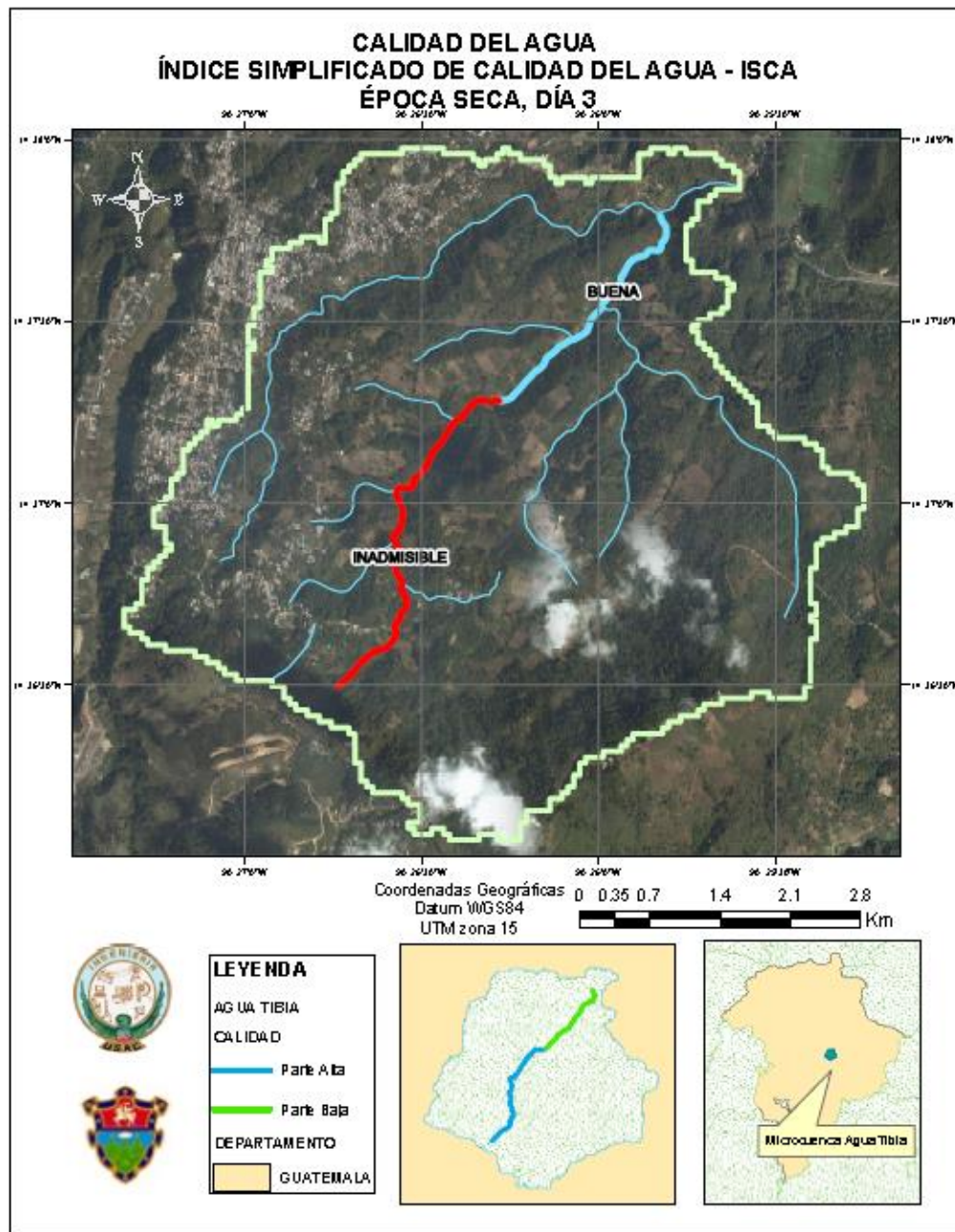
- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 2



Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.

Continuación del apéndice 6.

- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 3

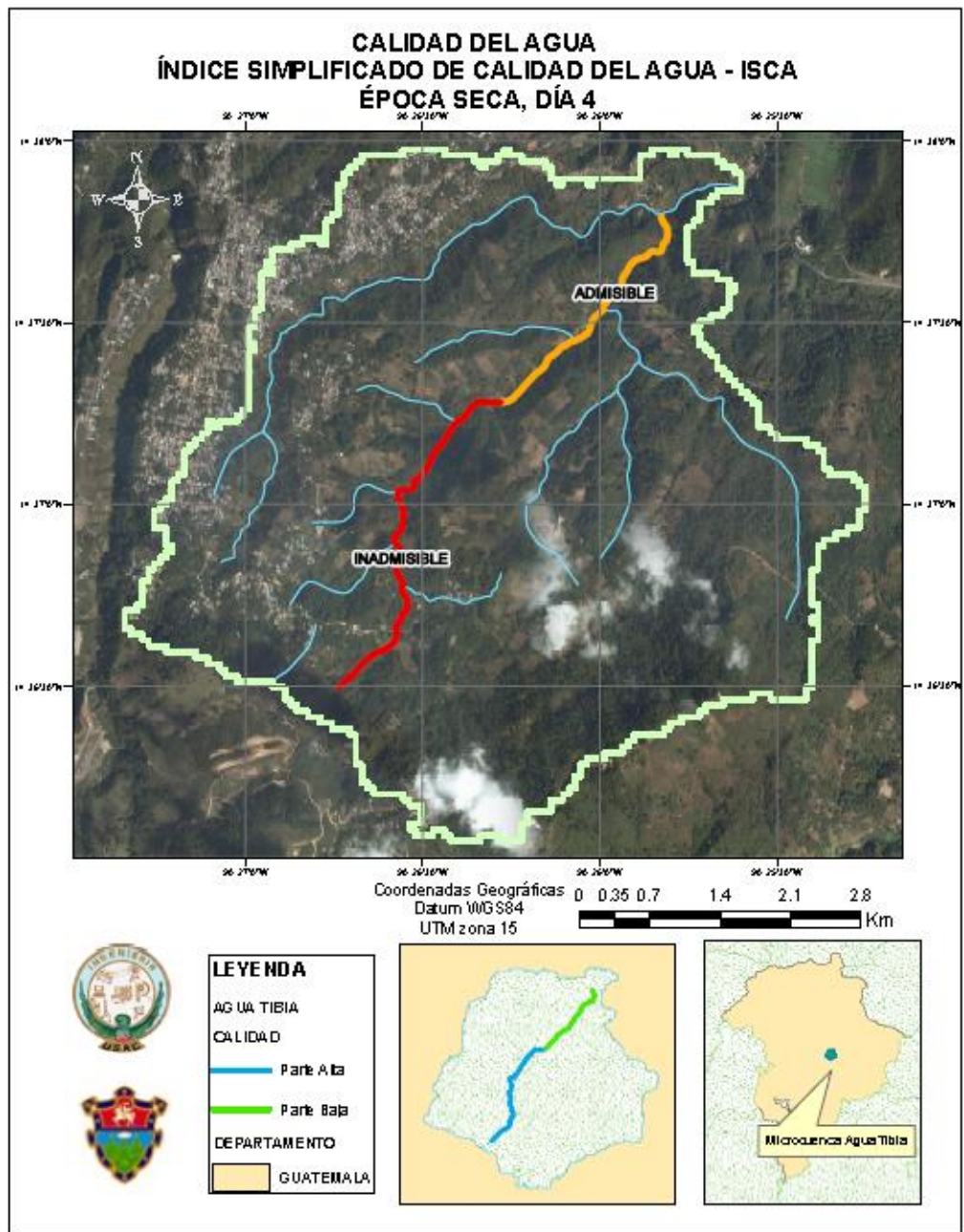


Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.



Continuación del apéndice 6.

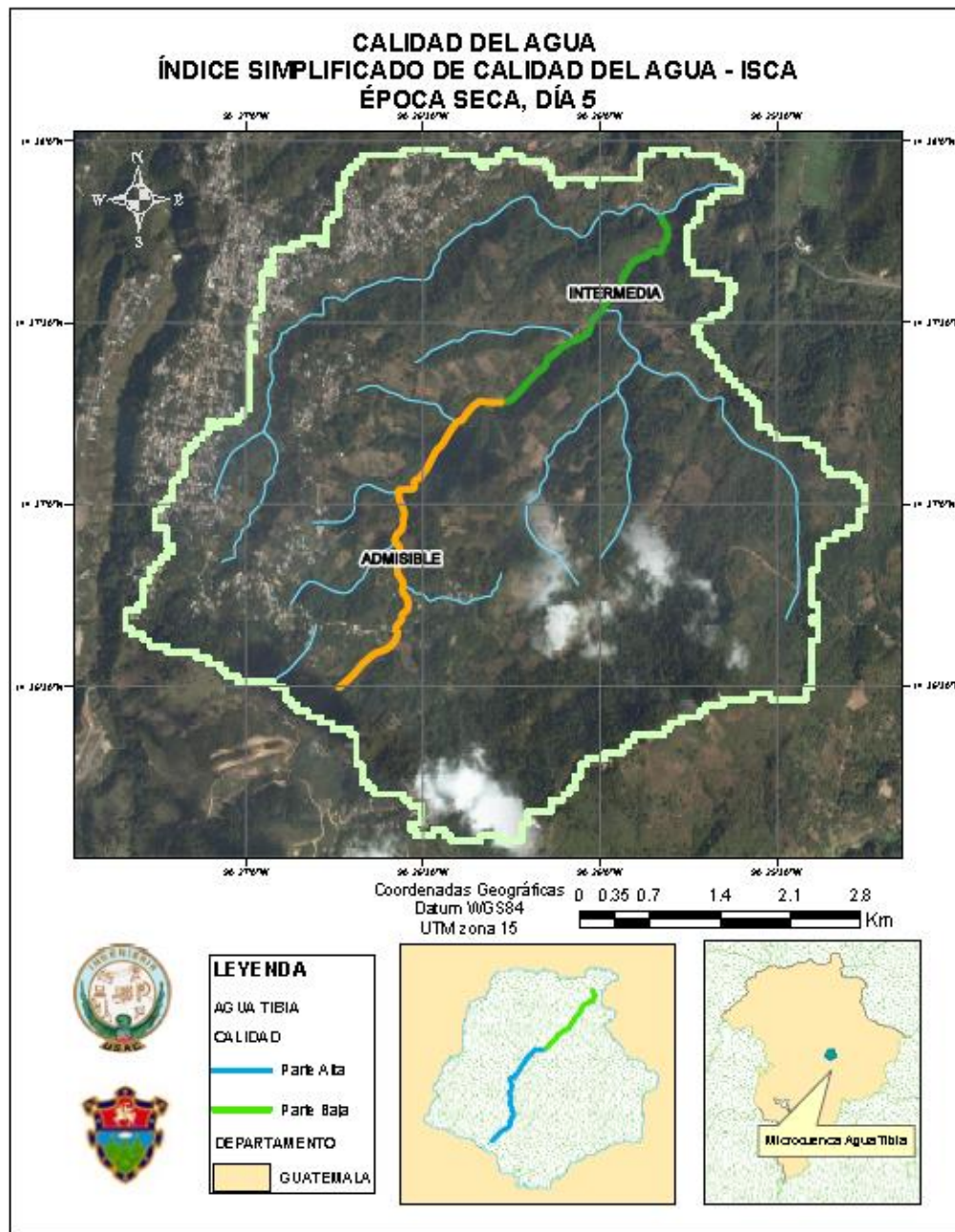
- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 4



Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.






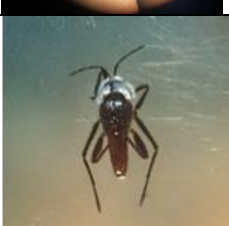
Continuación del apéndice 6.

- Mapa de calidad del agua de la microcuenca del río Agua Tibia, día 5









Fuente: elaboración propia con programa ArcGis 10.







Apéndice 7. resumen de macroinvertebrados acuáticos identificados

No.	Orden	Familia	Imagen	Puntuación
1	Annelida	Oligochaeta		1
2	Diptera	Chironomidae		2
3	Diptera	Culicidae		2
4	Diptera	Dolichopodidae		2
5	Hemiptera	Gerridae		3
6	Hemiptera	Veliidae		3

Continuación del apéndice 7.







7	Mollusca	Physidae		3
8	Mollusca	Sphaeriidae		3
9	Coleoptera	Dytiscidae		4
10	Coleoptera	Staphilidae		4
11	Diptera	Ephyridaelarvae		4
12	Diptera	Muscidae		4

Continuación del apéndice 7.




13	Diptera	Simuliidae		4
14	Diptera	Tipulidae		4
15	Hemiptera	Belostomatidae		4
16	Hemiptera	Ochteridae		4
17	Odonata	Calopterygidae		4
18	Odonata	Coenagrionidae		4



Continuación del apéndice 7.

19	Coleoptera	Hidraenidae		5
20	Ephemeroptera	Baetidae		5
21	Ephemeroptera	Leptohiphidae		5
22	Lepidoptera	Crambidae		5
23	Trichoptera	Hydropsychidae		5
24	Odonata	Libellulidae		6

Continuación del apéndice 7.

25	Trichoptera	Policentropodidae		6
26	Coleoptera	Ptilodactylidae		7
27	Mollusca	Ancylidae		7

Fuente: elaboración propia.