



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

**ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA EL PLAN DE MONITOREO DE  
CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA**

**Marco Antonio Urrutia Campo**

Asesorado por la Inga. Jeanny Beatriz Ramírez Sosa

Guatemala, septiembre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA EL PLAN DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**MARCO ANTONIO URRUTIA CAMPO**

ASESORADO POR LA INGA. JEANNY BEATRIZ RAMÍREZ SOSA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO AMBIENTAL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. María Alejandra Má Villatoro
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA EL PLAN DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 6 de mayo de 2019.

**Marco Antonio Urrutia Campo**

Guatemala 21 de febrero de 2020

Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
DIRECTOR  
Escuela Ingeniería Química  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: "Elaboración de una propuesta para el plan de monitoreo de calidad del agua de los ríos del municipio de Guatemala", elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, Marco Antonio Urrutia Campo, quien se identifica con el registro académico 2014-03826 y con el CUI 2722 65225 0101.

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

Atentamente,

  
**Jeanny Beatriz Ramirez Sosa**  
Ingeniera Civil  
Colegiada 12904  
Jeanny Beatriz Ramirez Sosa  
ASESOR  
Ingeniera Civil  
Colegiado activo no. 12904



Guatemala, 06 de marzo de 2020.  
 Ref. EIQR.TG-IF.012.2020,

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **065-2018**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL**

Solicitado por el estudiante universitario: **Marco Antonio Urrutia Campo**.  
 Identificado con número de carné: **2722652250101**.  
 Identificado con registro académico: **201403826**.  
 Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Ambiental**.  
 En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

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

**ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA EL PLAN DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

**Jeanny Beatriz Ramírez Sosa**, profesional de la Ingeniería Civil

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

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Jorge Mario Estrada Asturias  
 Profesional de la Ingeniería Química  
 COORDINADOR DE TERNA  
 Tribunal de Revisión  
 Trabajo de Graduación

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

C.c.: archivo








Guatemala, 10 de agosto de 2020.  
Ref. EIQ.215.2020

**Aprobación del informe final del trabajo de graduación**

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

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA EL PLAN DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA** del(la) estudiante Marco Antonio Urrutia Campo, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Ambiental.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Williams G. Alvarez Mejía; M.I.Q.,  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Cc. Archivo  
WGAM/wgam



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



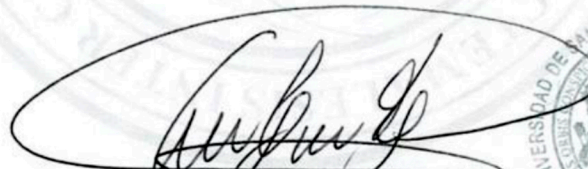
**NO SALGAS  
QUÉDATE EN  
CASA**




DTG. 199.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA EL PLAN DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Marco Antonio Urrutia Campo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, septiembre de 2020

AACE/asga

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mis padres**

Delfina Campo y Geovanny Urrutia por su apoyo, paciencia y ejemplo de cómo ser una persona honesta, perseverante y competente con las metas que me propongo.

### **Mi hermano**

Mario Urrutia por su generosidad y apoyo en todo momento.

### **Mis tíos**

Huber Palma y Julio Campo por sus consejos y su apoyo.

### **Guatemala**

Por ser el lugar que por su historia, diversidad y cultura me ha dado lecciones, enseñanzas e inspiración para lograr grandes cosas en la vida.

## AGRADECIMIENTOS A:

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi <i>alma máter</i> y el lugar donde me formé con principios de investigación científica y excelencia que serán puestos al servicio de Guatemala.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por darme las herramientas necesarias para afrontar y resolver problemas que atañen a todo el país.
<b>Mi asesora</b>	Inga. Beatriz Ramírez por su guía en esta investigación y en mi carrera profesional.
<b>Municipalidad de Guatemala</b>	Por ser la institución donde se me dio la oportunidad de concluir mi etapa estudiantil e iniciar mi carrera profesional.
<b>Mi familia</b>	Por ser una importante influencia en mi vida tanto a nivel personal como profesional con ejemplos de ética y valores.
<b>Mis amigos</b>	Por ser una importante influencia en mí vida y hacer de estos años de estudios más placenteros.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
Hipótesis .....	XVIII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. ANTECEDENTES .....	1
2. JUSTIFICACIÓN .....	5
3. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA .....	7
3.1. Definición.....	7
3.2. Delimitación .....	7
4. MARCO TEÓRICO.....	9
4.1. Calidad del agua.....	10
4.1.1. Parámetros físicos .....	11
4.1.2. Parámetros químicos.....	11
4.1.3. Parámetros biológicos .....	12
4.2. Contaminación hídrica.....	12
4.2.1. Origen de la contaminación .....	13
4.2.1.1. Industrial .....	13
4.2.1.2. Doméstica.....	14

	4.2.1.3.	Agrícola .....	14
4.3.		Índices de calidad .....	15
	4.3.1.	Índice de carácter químico .....	15
		4.3.1.1. Índice de Langelier .....	15
		4.3.1.2. ICA .....	16
		4.3.1.2.1. Procedimiento para cálculo de Índice de Calidad de Agua (ICA) ..	16
		4.3.1.3. ISQA.....	18
4.4.		Índices de contaminación ICO .....	20
	4.4.1.	ICOMI.....	21
	4.4.2.	ICOMO .....	21
	4.4.3.	ICOSUS.....	22
	4.4.4.	ICOTRO .....	22
4.5.		Índice de carácter biológico.....	23
	4.5.1.	Índice BMWP.....	23
4.6.		Monitoreo de la calidad del agua .....	27
	4.6.1.	Tipos de programa de muestreo .....	28
	4.6.2.	Planificación del monitoreo de la calidad del agua .....	28
4.7.		Muestreo de agua .....	29
	4.7.1.	Muestras puntuales .....	30
	4.7.2.	Muestras compuestas .....	30
	4.7.3.	Muestra integrada .....	31
4.8.		Situación geográfica del municipio de Guatemala .....	32
	4.8.1.	Ubicación geográfica del municipio de Guatemala.....	32
	4.8.2.	Características climáticas.....	32
	4.8.3.	Aspectos socioeconómicos .....	33

4.8.4.	Geología y suelo.....	34
4.9.	Legislación ambiental referente al recurso hídrico en Guatemala.....	35
4.9.1.	Constitución Política de la República de Guatemala .....	36
4.9.2.	Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto No. 68-86).....	37
4.9.3.	Código Penal .....	37
4.9.4.	Código de Salud .....	39
5.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	41
5.1.	Variables.....	41
5.1.1.	Variables independientes .....	41
5.1.2.	Variables dependientes .....	42
5.2.	Delimitación de campo de estudio.....	42
5.3.	Recurso humano disponible .....	43
5.4.	Recurso material disponible .....	43
5.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa .....	43
5.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	43
5.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	44
5.8.	Análisis de los resultados .....	44
5.8.1.	Programas utilizados para el análisis de datos.....	44
6.	RESULTADOS .....	47
6.1.	Resumen de los ríos.....	49
6.2.	Verificación de puntos de muestreo en campo.....	51
6.2.1.	Quebrada el Cangrejo .....	51
6.2.2.	Quebrada El Frutal .....	51

6.2.3.	Quebrada El Toro.....	52
6.2.4.	Río Aceituno.....	53
6.2.5.	Río Agua Tibia.....	53
6.2.6.	Río Bijagüe.....	54
6.2.7.	Río Canalitos.....	55
6.2.8.	Río Contreras.....	55
6.2.9.	Río Guadrón.....	56
6.2.10.	Río La Barranca.....	57
6.2.11.	Río Las Vacas.....	58
6.2.12.	Río Los Ocotes.....	58
6.2.13.	Río Los Vados.....	59
6.2.14.	Río Marrullero.....	60
6.2.15.	Río Méndez.....	60
6.2.16.	Río Molino.....	61
6.2.17.	Río Monjitas.....	61
6.2.18.	Río Naranjo.....	62
6.2.19.	Río Negro.....	62
6.2.20.	Río Pínula.....	63
6.2.21.	Riachuelo Santa Rosita.....	64
6.2.22.	Río Teocinte.....	65
6.2.23.	Río Zanjón El Escorpión.....	66
6.3.	Frecuencia de muestreo.....	66
6.4.	Procedimiento para la toma de muestras.....	67
6.5.	Propuesta de cronograma de actividades.....	74
7.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	77
7.1.	Puntos de muestreo.....	77
7.2.	Frecuencia.....	78
7.3.	Procedimiento.....	80

CONCLUSIONES ..... 83  
RECOMENDACIONES ..... 85  
BIBLIOGRAFÍA ..... 87  
APÉNDICES ..... 97  
ANEXO ..... 139



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Estructura del Valle de Guatemala como un graben .....	35
2.	Red de puntos de muestreo de la ciudad de Guatemala .....	47
3.	Vertientes hidrográficas de la ciudad de Guatemala .....	48

### TABLAS

I.	Factores de ponderación ICA-NSF .....	17
II.	Hoja para tabulación de datos.....	17
III.	Características del ISQA.....	20
IV.	Puntajes para las familias del índice BMWP-CR.....	24
V.	Clasificación de la calidad del agua en función del puntaje obtenido...	26
VI.	Resumen de ríos y puntos de muestreo.....	49
VII.	Puntos de muestreo río quebrada El Cangrejo .....	51
VIII.	Puntos de muestreo río quebrada El Frutal.....	52
IX.	Puntos de muestreo río quebrada El Toro .....	52
X.	Puntos de muestreo río Aceituno .....	53
XI.	Puntos de muestreo río Agua Tibia .....	53
XII.	Puntos de muestreo río Bijagüe .....	54
XIII.	Puntos de muestreo río Canalitos .....	55
XIV.	Puntos de muestreo río Contreras .....	56
XV.	Puntos de muestreo río Guadrón .....	57
XVI.	Puntos de muestreo río La Barranca.....	57
XVII.	Puntos de muestreo río Las Vacas .....	58

XVIII.	Puntos de muestreo río Los Ocotes.....	59
XIX.	Puntos de muestreo río Los Vados.....	59
XX.	Puntos de muestreo río Marrullero.....	60
XXI.	Puntos de muestreo río Méndez.....	60
XXII.	Puntos de muestreo río Molino .....	61
XXIII.	Puntos de muestreo río Monjitas .....	61
XXIV.	Muestreo río Naranja .....	62
XXV.	Puntos de muestreo río Negro .....	63
XXVI.	Puntos de muestreo río Pinula.....	64
XXVII.	Puntos de muestreo riachuelo Santa Rosita .....	65
XXVIII.	Puntos de muestreo río Teocinte .....	65
XXIX.	Puntos de muestreo río Zanjón El Escorpión.....	66
XXX.	Frecuencia de monitoreo .....	67
XXXI.	Procedimiento para toma de muestra.....	67
XXXII.	Ejemplo de tabla de atributos para índices de calidad.....	73
XXXIII.	Cronograma de actividades .....	75



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>CE</b>	Conductividad Eléctrica
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>&gt;</b>	Mayor que
<b>&lt;</b>	Menor que
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>mg/L</b>	Miligramos por litro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>nm</b>	Nanómetro
<b>N</b>	Norte
<b>%</b>	Porcentaje
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno



## GLOSARIO

<b>Afluente</b>	Arrollo o río secundario que desemboca o desagua en otro principal.
<b>Antrópico</b>	Producido o modificado por la actividad humana.
<b>Bentónicos</b>	Conjunto de organismos que viven en los fondos acuáticos.
<b>Biodiversidad</b>	Variedad de especies animales y vegetales en su medio ambiente.
<b>Bioindicador</b>	Organismo vivo que se emplea para determinar y evaluar el índice de contaminación de un sitio, especialmente de la atmósfera o del agua.
<b>Biomonitoreo</b>	Consiste en el uso constante y sistemático de organismos vivos para dar seguimiento o determinar la calidad ambiental.
<b>BMWP</b>	<i>Biological Monitoring Working Party</i> , índice biótico que mide la calidad del agua utilizando macroinvertebrados bentónicos.
<b>Cauce</b>	Lecho de los ríos o arroyos.

<b>CE</b>	Conductividad eléctrica de una disolución. Es la aptitud para transferir la corriente eléctrica.
<b>Cuenca</b>	Territorio cuyas aguas fluyen todas a un mismo río, lago o mar. Está delimitada por un parteaguas.
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno para que los organismos degraden materia orgánica.
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno necesario para descomponer materia orgánica e inorgánica del agua.
<b>Dureza</b>	Concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio.
<b>Eutrofización</b>	Incremento de sustancias nutritivas en aguas dulces de lagos y embalses que provocan un exceso de fitoplancton.
<b>ICA</b>	Índice de calidad del agua.
<b>ICOMI</b>	Índice de contaminación por mineralización, utiliza la conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, dureza por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y alcalinidad.
<b>ISQA</b>	Índice simplificado de calidad de agua.

<b>Macroinvertebrados</b>	Incluye a aquellos animales invertebrados que por su tamaño relativamente grande son retenidos por redes de luz de malla entre 250-300 $\mu\text{m}$ .
<b>Muestra</b>	Cantidad pequeña de agua que se considera representativa del total de agua del río.
<b>OD</b>	Oxígeno disuelto, indica la cantidad de oxígeno disuelto en agua y es un indicador de contaminación del agua.
<b>Sst</b>	Sólidos suspendidos totales, es la cantidad de residuos no filtrables de una muestra de agua.
<b>Turbiedad</b>	Hace referencia a la cantidad de materia en suspensión y materia coloidal presente.



## RESUMEN

El proyecto consistió en la elaboración de un plan de monitoreo de la calidad del agua de los ríos del municipio de Guatemala. Se determinaron las ubicaciones de los puntos de muestreo de los ríos. Se determinó también la frecuencia de toma de muestras y análisis de la calidad del agua. Además, se estableció el procedimiento de toma de muestras de agua de los ríos.

Se dividieron los ríos en parte alta, media y baja, utilizando sistemas de información geográfica, para determinar los puntos de muestreo. Luego se realizaron visitas de campo donde se evaluó la accesibilidad y seguridad del lugar para poder realizar las tomas de muestras de agua. La frecuencia de muestreo se decidió tomando en cuenta la línea base que se había trabajado en la Dirección de Medio Ambiente y los antecedentes a nivel nacional e internacional. El procedimiento para la toma de muestra se estableció considerando la organización administrativa de la Dirección de Medio Ambiente y las normas internacionales para la toma de muestras.

Se establecieron 50 puntos de muestreo en 23 ríos. En algunos ríos se logró establecer tres puntos de muestreo, mientras en otros, por accesibilidad o seguridad solo se pudieron establecer uno o dos puntos. La frecuencia de tomas de muestras se estableció a partir de las dos épocas climáticas de Guatemala. En la época seca se muestreará una vez por semana durante 5 semanas consecutivas, igualmente se realizará en la época lluviosa. Teniendo un total de 10 muestreos por punto por año. En total serán 500 muestras anuales. Por otro lado, el procedimiento de toma de muestras se estableció empezando por la planificación anual o plan operativo anual POA de la

Dirección de Medio Ambiente, la preparación del material necesario, la toma de muestras en campo y el traslado, los exámenes de laboratorio de parámetros para calcular ICA, ISQA y BMWP, interpretación de resultados y socialización de los resultados finales. Para esto se estableció un cronograma de actividades anual en el cual se propone las fechas ideales para cada actividad.

Para aumentar la cantidad de datos, será necesario a futuro, aumentar la frecuencia de toma de muestras y de ser posible adquirir equipo como sondas multiparamétricas que den resultados en tiempo real y de forma permanente. Ya con una base de datos más completa se podrán tomar decisiones para mejorar la calidad ambiental en el municipio de Guatemala.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Elaborar una propuesta para el plan de monitoreo de calidad del agua de los ríos del municipio de Guatemala.

### **Específicos**

1. Determinar los puntos óptimos para la recolección de muestras para el análisis de los índices de calidad del agua de los ríos.
2. Seleccionar la frecuencia con la que se realizará la toma de muestras de agua para determinar la calidad.
3. Establecer el procedimiento adecuado de toma de muestras de agua de los ríos.

## **Hipótesis**

No hay hipótesis porque la investigación se basa en la elaboración de un plan para el monitoreo de la calidad del agua en los ríos del municipio de Guatemala, y no tendrá una fase experimental.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años ha aumentado la preocupación por la contaminación de los ríos y cuerpos de agua a nivel mundial. En Guatemala la contaminación de los ríos se debe principalmente a descargas de aguas residuales domiciliarias e industriales. También la mala disposición de desechos sólidos afecta en la contaminación de los cuerpos de agua por sólidos suspendidos.

Uno de los propósitos de esta investigación es realizar un plan sostenible, adaptado a la ciudad de Guatemala y con altas posibilidades de ser aplicado por las autoridades del municipio. Al plan, según sean las prioridades y posibilidades de la Dirección de Medio Ambiente podrá aumentarse la frecuencia de toma de muestras de agua. Además, de ser posible el acceso a nuevos puntos de muestreo donde actualmente no hay entrada, se podrán añadir al plan. También, el uso de los sistemas de información geográfica como herramienta que facilita la elaboración de proyectos mejora los productos de los planes de monitoreo y se genera información de más fácil interpretación, fue parte de la investigación.

Se utilizó el municipio como área de estudio porque se contaba con una línea base de investigaciones de calidad de agua de los ríos, pero faltaba consolidar esa información generada y establecer un proyecto estable y continuo para la generación de datos y posibilitar la toma de mejores decisiones.

Al dividir los ríos en parte alta, media y baja, utilizando Arcgis, se obtuvieron tres puntos de muestreo. Estos puntos posteriormente se validaron en campo verificando la accesibilidad al sitio, la seguridad y la existencia del río. Luego la frecuencia de muestreo se estableció, usando como base los estudios realizados previamente en la Dirección de Medio Ambiente, que es de una toma de muestra por semana durante cinco semanas consecutivas, en la época seca y de igual manera en la época de lluvia.

En el primer capítulo se exponen los estudios de calidad del agua realizados anteriormente en los ríos del municipio y algunos a nivel nacional e internacional.

En capítulo dos de esta investigación se exponen los hechos que justifican la significancia de tener un plan de monitoreo de la calidad del agua de los ríos para la ciudad capital.

En el capítulo tres se desarrolla la determinación del problema de investigación. Por su parte, en el capítulo cuatro se muestra el fundamento teórico que sustenta, en todas sus aristas, el estudio.

En el capítulo cinco se detalla el diseño metodológico utilizado. Luego, en el capítulo seis y siete se presentan los resultados y la interpretación de resultados.

# 1. ANTECEDENTES

En Guatemala actualmente no existe una ley de aguas que obligue o regule la gestión del recurso hídrico del país. Por lo tanto, la mayoría de estudios de calidad del agua han sido investigaciones de estudiantes de nivel de pregrado y algunos de postgrado.

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; como lo hicieron Patrick en 1949 y 1950, Weimann en 1951, Hynes en 1959 y 1963, Sladeczek en 1962.<sup>1</sup>

También en El Salvador Sermeño Chicas, en El Salvador, desarrolló guías metodológicas estandarizadas para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos, utilizando insectos acuáticos del Orden Coleoptera, Hemiptera, Lepidoptera, Diptera, Ephemeroptera y Trichiptera.

En la Universidad de San Carlos de Guatemala se realizó el estudio Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos. El grado de contaminación obtenido en la parte alta fue regular (contaminación moderada), en ambas épocas según BMWP, en la parte media la contaminación fue regular (contaminación moderada), en ambas épocas y en la parte baja de la cuenca los niveles de calidad fueron de mala (muy contaminada), en época seca y muy mala (extremadamente contaminada) en época lluviosa.

---

<sup>1</sup> ROLDAN, Carlos. *Aguas continentales*. p. 12.

En la Universidad de San Carlos de Guatemala en el estudio titulado Determinación de la influencia de las características fisicoquímicas medidas a través del índice simplificado de calidad del agua (ISQA), sobre la biota medida a través del índice biótico BMWP en la microcuenca del río Contreras del municipio de Guatemala, se obtuvieron puntuaciones muy bajas, clasificando la calidad del agua como muy crítica.

En la Universidad de San Carlos de Guatemala en el estudio Determinación de la calidad ambiental del agua, mediante índices bióticos y fisicoquímicos en la microcuenca del río Agua Tibia, zona 24, se determinó la calidad del agua en la cuenca del río Agua Tibia en zona 24. 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. Y en la época lluviosa calificó como calidad mala en parte alta y baja, con ponderaciones de 29,4 y 32,2 respectivamente.

En la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) en el estudio Determinación de los índices de la calidad del agua (ICA-NSF e ISQA) para consumo humano de los ríos Teocinte y Acatán, que abastecen la planta de tratamiento de agua Santa Luisa zona 16, Guatemala, se determinó los índices de calidad del agua (ISQA e ICA-NSF) para el consumo humano de los ríos Teocinte y Acatán. En la investigación se determinó que los Índice de Calidad del Agua ICA-NSF e ISQA se encuentran entre los rangos de (26-70 para el ICA y 46-85 para el ISQA), establecidos para realizar el tratamiento para consumo humano.

En la Universidad de San Carlos de Guatemala se realizó el estudio titulado Estandarización de la metodología para el cálculo del índice de calidad del agua en el monitoreo ambiental de la ciudad de Guatemala, se redactaron

los manuales generalizados para la implementación del método de cálculo del ICA, tomando en consideración técnicas de cálculo matemático, y procedimientos establecidos por la *National Sanitation Foundation* (NSF), para el cálculo del índice ICA, con el fin de determinar la calidad del recurso hídrico en la Ciudad de Guatemala.

En la Universidad de San Carlos de Guatemala en el estudio Análisis comparativo entre el índice simplificado de calidad del agua (ISQA), y el índice de calidad del agua (ICA), aplicados al monitoreo de aguas superficiales en el río La quebrada El Frutal, se determinó por medio del ISQA e ICA que en general, la calidad del Río la quebrada El Frutal, fue mala de forma permanente durante todo el año, lo cual implica que el río La quebrada El Frutal, se encuentra contaminado con materia orgánica, desechos domésticos y desechos industriales. Pero existe una mejora de la calidad en los resultados analizados en época lluviosa.

En la Universidad de San Carlos de Guatemala en el estudio Determinación de la correlación de dos índices fisicoquímicos y un índice biológico de calidad del agua en el río Teocinte, zona 25, ciudad de Guatemala. Los índices correlacionados fueron ICOMI-ISQA, ISQA-BMWP e ICOMI-BMWP. Según el índice simplificado de calidad del agua, en la época lluviosa, en la parte alta y media la calidad del agua del río Teocinte se clasificó como intermedia, y en la parte baja como admisible. En la época seca, existió una degradación considerable y se clasificó como inadmisibles en las tres partes analizadas. Los resultados obtenidos según el índice BMWP-CR de la época lluviosa indican que existe en la parte alta y media una calidad mala, contaminada, y en la parte baja una calidad mala, muy contaminada. En la época seca, en la parte alta del río Teocinte, se clasificó la calidad del agua

como mala, muy contaminada, en la parte baja y media se clasificó como mala, contaminada.

Asimismo, en la Universidad de San Carlos de Guatemala en el estudio llamado Evaluación cualitativa de la influencia estacional en la calidad del agua, por medio de la determinación del ISQA, del río Bijagüe de la ciudad de Guatemala, se determinó que debido a que existe variación entre los resultados del ISQA en las dos épocas del año, si existe una influencia estacional del ISQA, siendo positiva en el paso de época seca a lluviosa ya que la calidad del agua mejora.



## 2. JUSTIFICACIÓN

El acceso a agua de calidad es una necesidad y un derecho. Con el aumento poblacional la demanda de agua ha aumentado, y la disponibilidad de agua de calidad disminuye. Las poblaciones, principalmente las ciudades, requieren un enorme suministro de agua dulce y, a su vez, tienen un gran impacto sobre estos cuerpos de agua. En América Latina el 77 % de la población es urbana y la tasa de urbanización sigue creciendo (ONU, 2012).

Guatemala cuenta con 38 cuencas hidrográficas dentro de 3 grandes vertientes, las cuales son: pacífico, atlántico y golfo de México. Por lo tanto, Guatemala es un país exportador natural de agua. México, Honduras y el Salvador reciben agua de Guatemala a través de sus ríos transnacionales. En consecuencia, las aguas de Guatemala tienen influencia transnacional.

La ciudad de Guatemala está dividida en dos grandes cuencas de importancia nacional e internacional. Una es la cuenca del río Motagua, que llega a costas de Honduras y la otra es la cuenca del lago de Amatitlán. “El problema de contaminación muestra el deterioro que sufre la cuenca y el lago de Amatitlan.”<sup>2</sup> y “el río las Vacas tiene un impacto negativo sobre la calidad del agua del río Motagua.”<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> GIL OVALLE, Ingrid. *Monitoreo y cuantificación de coliformes totales, coliformes fecales y escherichia coli, en siete microcuencas del lago de Amatitlán: Chanquín, El Frutal, Guadrón, Pinula, San Lucas, Zacatal y Zanjón la Palin. Guatemala.* p. 29.

<sup>3</sup> PÉREZ SABINO, J.F., OLIVIA HERNANDEZ, Bessie E. y CALLEJAS, B. *Impacto de la contaminación del río las Vacas sobre la calidad del agua del río Motagua, Guatemala.* p. 63.

En el país no existe una red de monitoreo de calidad del agua a nivel de municipalidades. A pesar de que se han realizado varios estudios de calidad del agua, han sido estudios puntuales, en un tiempo determinado, a los que no se les ha dado continuidad. Por tal motivo no hay datos ni información precisa de la se puedan sacar conclusiones sobre la contaminación a lo largo del tiempo.

Medir las características físicas, químicas y biológicas del agua superficial en los ríos provee información crucial para identificar, direccionar y atacar los problemas que afectan la calidad del agua. Proveyendo de datos base, tendencias en el tiempo y comparaciones entre diferentes cuerpos de agua, la información de la calidad del agua puede ayudar a: 1) determinar el impacto de las actividades industrial, agrícolas y otras actividades humanas. 2) cuantificar la efectividad de las políticas y planes de manejo. 3) desarrollar modelos de manejo de calidad del agua. 4) priorizar donde se deben realizar los mayores esfuerzos. 5) y comunicar a las partes interesadas sobre la contaminación, preocupaciones por la salud de las personas y ecosistemas degradados.<sup>4</sup>

Las estrategias para implementar mejoras en la calidad del agua requieren crear conciencia, incrementar el monitoreo, y mejor la gobernanza. Incrementar el monitoreo y recolección de datos ayudará a enfocarse mejor en el problema de la calidad del agua y evaluar la efectividad de las medidas correctivas.

Por lo expuesto anterior, es necesario, no solo determinar la calidad del agua en una temporada puntual, sino de manera periódica. El monitoreo de la calidad del agua en las cuencas hidrológicas es un factor fundamental para la toma de decisiones correcta y en tiempo, que permite la conservación del recurso hídrico.

---

<sup>4</sup> UNEP. *Clearing the Waters: A Focus on Water Quality Solutions*. United Nations Environment Programme, Pacific Institute. <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/7906>.

### **3. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **3.1. Definición**

No existe un plan definido para el monitoreo constante de los ríos en la ciudad de Guatemala. Para poder hacer análisis estadísticos de la calidad del agua se necesita tener un monitoreo constante.

#### **3.2. Delimitación**

El plan de monitoreo se basa en la determinación de los puntos de muestreo de los ríos, de la frecuencia de muestreo y el procedimiento para la toma de muestras.

Geográficamente está limitado a los límites políticos administrativos de la ciudad de Guatemala.



## 4. MARCO TEÓRICO

“El agua es una sustancia vital para cualquier forma de vida en el planeta. Los estudios acerca del agua han revelado que el 97 % pertenece al mar y es salada, el 2 % se encuentra en los polos, en forma de hielo, y solamente el 1 % se considera agua aprovechable o agua dulce, presente en los ríos, lagos y corrientes subterráneas.”<sup>5</sup>

“El agua puede ser considerada, según Aceituno, como un recurso renovable, cuando se aprovecha de manera adecuada. De lo contrario es un recurso no renovable, limitado por las cantidades que se mueven en el sistema natural; sin embargo, se ha considerado como inagotable, por lo que se ha usado irresponsablemente.”<sup>6</sup>

“Todos los cuerpos de agua están interconectados a través del ciclo hidrológico. Los cuerpos de agua en la tierra se dividen en ríos, lagos, aguas subterráneas y otro tipo de cuerpos de agua de carácter transitorio como embalses, ciénagas y estuarios.”<sup>7</sup>

Los ríos se caracterizan porque fluye unidireccionalmente con velocidades promedio relativamente altas que varían entre 0,1 y 1 m/s. El flujo en los ríos es altamente variable y depende de las condiciones climáticas y de las características del área de drenaje. En general, según Sierra, los ríos son cuerpos de agua los cuales pueden considerarse permanentemente mezclados, y en la mayoría de ellos, la calidad del agua es importante en el sentido del flujo.<sup>8</sup>

---

<sup>5</sup> ACEITUNO IBÁÑEZ, Álvaro. *Manual de educación ambiental sobre el recurso hídrico en Guatemala. Guatemala: Ministerio de agricultura, ganadería y alimentación.* <http://www.marn.gob.gt/Multimedios/7419.pdf>.

<sup>6</sup> *Ibíd.*

<sup>7</sup> SIERRA RAMÍREZ, Carlos. *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico.* p. 27.

<sup>8</sup> *Ibíd.*

“Los cuerpos de agua se pueden caracterizar analizando básicamente tres componentes: su hidrología, sus características fisicoquímicas y la parte biológica. Para llevar a cabo un análisis y evaluación completa de calidad del agua, es necesario monitorear estos tres componentes.”<sup>9</sup>

#### 4.1. Calidad del agua

La gestión de la calidad del agua contribuye directa e indirectamente a alcanzar las metas establecidas en cada uno de los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), aunque está más estrechamente vinculada al Objetivo 7, dirigido a garantizar la sostenibilidad medioambiental. Se pueden usar los indicadores relacionados con la calidad del agua para demostrar los progresos hacia la consecución de las metas, trazando las tendencias en el tiempo y en el espacio.<sup>10</sup>

El aumento de la población, la masiva urbanización, el vertido de nuevos patógenos y productos químicos procedentes de las industrias son factores clave que contribuyen al deterioro de la calidad del agua en todo el mundo, a los cuales se está sumando ya el cambio climático.

La calidad de un ambiente acuático se puede definir según Sierra como: una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua. La calidad del agua es un factor que incide directamente en la salud de los ecosistemas, el bienestar humano y de ella depende la biodiversidad, la calidad de los alimentos, las actividades económicas, entre otros. La calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua. Por tanto, la calidad del agua es también un factor influyente en la determinación de la pobreza o riqueza de un país.<sup>11</sup>

Desde la perspectiva de su gestión, la calidad del agua se define por su uso final. Así, el agua para el recreo, la pesca, o como hábitat para organismos acuáticos no requieren los mismos niveles de calidad. Para consumo de las personas los niveles de contaminantes deberán ser muy bajos, mientras que,

---

<sup>9</sup> SIERRA RAMÍREZ, Carlos. *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. p. 27.

<sup>10</sup> *Water quality for ecosystems and human health*.  
<http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/12217>.

<sup>11</sup> SIERRA RAMÍREZ, Carlos. *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. p. 27.

para obtener energía hidráulica, por ejemplo, las normas de calidad serán menos exigentes.

La determinación de la calidad del agua se basa en los niveles de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Para poder evaluar el grado de contaminación en los recursos hídricos es necesario implementar el desarrollo de metodologías de cálculo para determinar el índice de calidad del agua. Por otra parte, debido a las diferencias de interpretación de los encargados de tomar decisiones, los expertos en el tema y del público en general, existe un esfuerzo creciente para desarrollar un sistema indicador que agrupe los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco de referencia unificado.

#### **4.1.1. Parámetros físicos**

Son las características del agua que se perciben por los sentidos y no involucran reacciones químicas o biológicas. Entre los parámetros físicos están: la temperatura, color, los sólidos disueltos totales y turbiedad.

#### **4.1.2. Parámetros químicos**

El agua, como solvente natural, tiene sustancias químicas disueltas que le proveen ciertas características. Las sustancias disueltas participan en una serie de reacciones químicas que le dan propiedades químicas y biológicas particulares al agua. Algunas características químicas son la dureza, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica entre otros.

### **4.1.3. Parámetros biológicos**

El agua contaminada con materia orgánica e inorgánica desarrolla actividad biológica. Los microorganismos degradan la materia orgánica en materia celular y componentes más simples. Hay muchos seres vivos que se emplean como indicadores de la calidad de un agua. Así, según predominen unos organismos u otros, se podrá determinar el estado del agua.

## **4.2. Contaminación hídrica**

La contaminación del agua es el daño o alteración del agua por efecto de productos extraños. El agua de lluvia, las aguas de los ríos, lagos y aun de los mares son contaminadas por los desechos de lugares habitados, fábricas y ciudades, entre otros.

Según la Organización Mundial de la Salud el agua contaminada puede transmitir enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Se calcula que la contaminación del agua potable provoca más de 502 000 muertes por diarrea al año. Según el MSPAS, “cinco de las primeras veinte causas de morbilidad general pueden responder a enfermedades de transmisión hídrica: diarrea aguda, parasitismo intestinal, amebiasis intestinal, dengue y malaria. De esta forma, se llega a un total de poco más de 1 millón de casos en el año 2007.”<sup>12</sup>

De manera global, el problema más común con respecto a la calidad del agua es la eutrofización, resultado de grandes cantidades de nutrientes

---

<sup>12</sup> LENTI, Emilio. *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. p. 20.



(principalmente fósforo y nitrógeno), que deteriora considerablemente los usos benéficos del agua.

Entre los contaminantes más importantes del agua creados por las actividades humanas se encuentran microbios patógenos, nutrientes, sustancias que consumen el oxígeno del agua, metales pesados y materia orgánica persistente, así como sedimentos en suspensión y pesticidas, los cuales, en su mayoría, provienen de fuentes difusas (no localizadas). El calor, que eleva la temperatura de las aguas receptoras de vertidos también puede ser considerado un contaminante. Generalmente, los contaminantes son la causa más importante de la pérdida de calidad del agua en todo el mundo.

#### **4.2.1. Origen de la contaminación**

El origen de la contaminación se puede clasificar por la actividad de la que provienen los contaminantes.

##### **4.2.1.1. Industrial**

El agua es fundamental en los procesos industriales, ya sea como vehículo energético, de transporte, disolvente, en operaciones de lavado, intercambiadores de calor, entre otros.

La presión que genera la industria sobre el agua está más relacionada con los impactos de las descargas de aguas residuales, que con la cantidad de agua requerida en los procesos de producción.

La contaminación industrial se caracteriza por su variedad de contaminantes, puede aportar contaminantes orgánicos, pero también industrias

como la del petróleo, el acero y la minería representan el mayor riesgo en la liberación de metales pesados o compuestos tóxicos, sustancias persistentes y bioacumulables, que son transportadas a través del agua o la atmósfera, que además del peligro que representa para la salud humana y el ecosistema, se han encontrado alojadas en el tejido de peces y otras especies dulceacuícolas de importancia comercial, relevantes para la alimentación.

#### **4.2.1.2. Doméstica**

El problema de contaminación por el uso público del agua tiene dos grandes componentes: la contaminación por aguas grises y negras en los sistemas de alcantarillado, y la creciente producción de residuos sólidos junto a un mal manejo de los mismos. Este problema tiene su origen en la acelerada urbanización, particularmente del siglo XX.

Algunos centros de población no tienen la infraestructura o carecen de un marco normativo para el adecuado tratamiento de las aguas residuales, por lo que muchas de estas se verterán a los ríos o cuerpos de agua cercanos.

#### **4.2.1.3. Agrícola**

El agua utilizada en la agricultura, principalmente en las actividades de riego pasa a formar parte de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Para mantener los rendimientos agrícolas se hace uso de plaguicidas, fungicidas, herbicidas y fertilizantes, que se filtran hacia el acuífero, son arrastrados por las lluvias o vertidos intencionalmente al agua junto con restos orgánicos y sedimentos, haciendo a la agricultura la principal responsable de la contaminación por nitratos y fósforo.

### **4.3. Índices de calidad**

El índice de calidad, como forma de agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores de un deterioro en la calidad del agua, es una manera de evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple. Por otro lado, si el diseño del índice es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

Existen diferentes índices de calidad del agua, entre los más conocidos se encuentran los índices biológicos, como el índice Saprobic y los físico-químicos. Los más conocidos son el Índice de Calidad del Agua (ICA), siglas en idioma inglés y el Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISQA).

#### **4.3.1. Índice de carácter químico**

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

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

##### **4.3.1.1. Índice de Langelier**

Este índice es para determinar las tendencias corrosivas e incrustantes en el agua para uso doméstico o industrial. En este cálculo se utilizan los siguientes parámetros: pH, temperatura, dureza de calcio y alcalinidad total.

El rango ideal para el índice de Lagelier es de -0,3 a +0,3. Si el ISL es menor a -0,3 se considera corrosivo y si se obtiene un ISL mayor a 0,3 es tendencia de agua incrustante.

#### **4.3.1.2. ICA**

En este índice se utilizan 9 parámetros: coliformes fecales, DBO5, fosfatos, cambio en la temperatura, sólidos disueltos totales, nitratos, oxígeno disuelto, pH y turbidez. Este índice adopta un valor de 100 cuando se encuentra con excelente calidad, mientras más contaminado se encuentre va disminuyendo el valor.

##### **4.3.1.2.1. Procedimiento para cálculo de Índice de Calidad de Agua (ICA)**

Según Pineda Lam, la metodología para el cálculo del índice de calidad de agua para el monitoreo ambiental en la ciudad de Guatemala consta en 5 pasos indispensables después de recolectar las muestras y obtener resultados de laboratorio sobre los parámetros en la siguiente tabla:

- Tabulación de datos
- Cálculo de subíndices
- Cálculo de valores ICA
- Clasificación del recurso hídrico según valores de ICA
- Interpretación del ICA

Para calcular este índice se debe ponderar cada concentración por un factor, el peso de cada factor es calculado dividiendo la importancia de cada

parámetro sobre la valoración del peso de la variable de mayor importancia. Así, los pesos temporales son divididos individualmente entre la suma de los pesos temporales, lo que produce los pesos finales.

Tabla I. **Factores de ponderación ICA-NSF**

Parámetro	Factor peso
Oxígeno disuelto	0,17
Coliformes fecales	0,15
pH	0,12
Demanda bioquímica de oxígeno	0,1
Temperatura	0,10
Fosfatos	0,10
Nitratos	0,10
Turbiedad	0,08
Sólidos totales	0,08

Fuente: PINEDA LAM, Ricardo. *Estandarización de la metodología para el cálculo del índice de calidad del agua en el monitoreo ambiental de la ciudad de Guatemala*. p. 12.

Tabla II. **Hoja para tabulación de datos**

Fecha	Muestra	OD (%)	Coli. Fecales (NMP)	pH (uni)	DBO (mg/L)	Temperatura (°C)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Turbiedad (NTU)	SDT (mg/L)
	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	N									

Fuente: PINEDA LAM, Ricardo. *Estandarización de la metodología para el cálculo del índice de calidad del agua en el monitoreo ambiental de la ciudad de Guatemala*. p. 29.

#### 4.3.1.3. ISQA

“Es un índice que surge en España en 1982 para las cuencas de Cataluña que se basa en 5 parámetros fisicoquímicos planteado para el uso de 6 casos específicos, dentro de los cuales destaca el uso para consumo humano.”<sup>13</sup>

Este índice proporciona una idea rápida e intuitiva de la calidad del agua y necesita ser complementado con otros índices para una visión más amplia de la calidad del agua. Los 5 parámetros fisicoquímicos para la determinación del ISQA son: DQO, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura.

La ponderación del ISQA va desde 0 (calidad mínima) hasta 100 (calidad máxima).

La fórmula para determinar el ISQA es la siguiente:

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

T se deduce de la temperatura (t) en °C del agua del río.

Puede adquirir valores de 1 a 0,8

Si  $t \leq 20$  °C entonces  $T = 1$ .

Si  $t > 20$  °C entonces  $T = 1 - (t - 20) \times 0,0125$

A se deduce de la oxidabilidad al permanganato (DQO), (a) expresada en mg/l.

Puede adquirir valores de 0 a 30.

---

<sup>13</sup> AJCABUL RAXHÓN, Ángel. *Análisis comparativo entre el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) y el índice de calidad del agua (ICA), aplicados al monitoreo de aguas superficiales en el Río la Quebrada, el Frutal. Guatemala.* p. 13.

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

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

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  $B = 25 - (0,15 \times SST)$

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

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

C se deduce a partir del oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) en mg/l

Puede adquirir valores de 0 a 25.

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

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

D se deduce de la conductividad eléctrica expresada en  $\mu\text{S/cm}$  (c) a 18 °C.

Si la conductividad se ha medido a 25 °C, para convertirla a 18 °C se debe multiplicar por 0,86 los valores de D pueden adquirir valores de 0 a 20.

Si conductividad  $\leq 4\ 000$  entonces  $D = (3,6 - \log c) \times 15,4$

Si es  $> 4\ 000$  entonces  $D = 0$

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 siguiente tabla.

Tabla III. **Características del ISQA**

ISQA	Categoría	Descripción
85-100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todos los usos</li> </ul>	La calidad del agua está protegida, no existe amenazas, las condiciones son cercanas a los niveles naturales.
61-85	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo humano con tratamiento convencional.</li> </ul>	La calidad del agua está protegida contra un menor grado de amenazas; las condiciones raramente se apartan de los niveles naturales o deseados.
46-60	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo humano con tratamiento especial.</li> <li>• Riego.</li> <li>• Industrial.</li> </ul>	La calidad del agua es ocasionalmente afectada; las condiciones a veces no cumplen con los niveles deseados.
31-45	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recreación</li> <li>• Refrigeración</li> </ul>	La calidad del agua es frecuentemente afectada; las condiciones a menudo no cumplen con los niveles deseados.
0-30	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No puede usarse</li> </ul>	La calidad del agua es continuamente afectada; las condiciones no cumplen con los niveles deseados.

Fuente: PINEDA LAM, Ricardo. *Estandarización de la metodología para el cálculo del índice de calidad del agua en el monitoreo ambiental de la ciudad de Guatemala*. p. 19.

#### 4.4. **Índices de contaminación ICO**

Los índices de contaminación (ICO) constituyen una valiosa herramienta de fácil determinación, que prestan gran utilidad en la caracterización de la calidad de las aguas continentales, tarea que realizan con mayor objetividad y claridad que los tradicionales índices de calidad (ICA).



El cálculo de un único índice lleva implícito una pérdida sustancial de información que genera, en muchas circunstancias, mayor confusión en la interpretación de los resultados. Los cuatro índices de contaminación formulados son complementarios y, por tanto, permiten visualizar situaciones ambientales perfectamente distintas.

#### **4.4.1. ICOMI**

Se expresa en variables que son la conductividad como el reflejo de sólidos disueltos, dureza en cuanto recoge los cationes calcio y magnesio y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonatos y bicarbonatos.

Para determinar el ICOMI se ejecuta el promedio de cada una de las tres variables elegidas, las cuales se definen en un rango de 0 a 1; índices próximos a cero reflejan muy baja contaminación por mineralización (aguas biológicamente poco productivas) e índices cercanos a 1 reflejan lo contrario.

#### **4.4.2. ICOMO**

“Este indicador, índice de contaminación del agua por materia orgánica, fue desarrollado a partir de estudios fisicoquímicos, microbiológicos y limnológicos realizados en la industria petrolera para condiciones de ríos de Colombia.”<sup>14</sup> Utiliza las variables de DBO<sub>5</sub>, coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno, donde las dos primeras reflejan fuentes diversas de contaminación orgánica y la tercera expresa la respuesta ambiental del cuerpo a este tipo de polución.

---

<sup>14</sup> SAMBONI, Natalia., REYES, Aldemar. y CARVAJAL, Yesid. *Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta*. p. 55.

El valor de este indicador oscila de 0 a 1 y se clasifica en cinco categorías de contaminación: Ninguna (0 – 0,2), Baja (> 0,2 – 0,4), Media (> 0,4 – 0,6), Alta (> 0,6 – 0,8) y Muy Alta (> 0,8 1).

#### **4.4.3. ICOSUS**

Se determina tan sólo mediante la concentración de sólidos suspendidos. Si bien esta variable observó alguna correlación de importancia con la demanda de oxígeno (DBO y DQO) y con el amonio, se desagregó de las anteriores por cuanto estas últimas corresponden con claridad a procesos de contaminación orgánica, mientras que los sólidos suspendidos bajo muchas circunstancias, podrían perfectamente hacer referencia tan sólo a compuestos inorgánicos.

#### **4.4.4. ICOTRO**

Se calcula sobre la base de la concentración de fósforo total, este parámetro en exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico; la determinación se hace convirtiendo todos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico. Dependiendo de la cantidad de fósforo total obtenido, se determina el grado de eutrofización que tiene el cuerpo de agua:

- Oligotrofia: < 0,01
- Mesotrofia: 0,01 – 0,02
- Eutrofia: 0,02 – 1,00
- Hipereutrofia: > 1,00

#### **4.5. Índice de carácter biológico**

Estos índices brindan un valor adimensional que demuestra los efectos de la contaminación en una comunidad biológica específica; se basa en verificar las actividades de las comunidades con respecto al ecosistema en el que se encuentren. La existencia de alguna especie o su ausencia y la densidad o abundancia, determinará la calidad del cuerpo de agua en el que se encuentren. Estos índices complementan a los índices fisicoquímicos, porque pueden determinar el estado del agua en un tiempo prolongado, pero no identificar los agentes contaminantes existentes.

##### **4.5.1. Índice BMWP**

Biological Monitoring Working Party: brinda un valor entre 1 (familias muy tolerantes a la contaminación) y 10 (familias intolerantes) a las familias de macroinvertebrados bentónicos. La suma de los valores encontrados de cada familia dará el grado de contaminación en el punto estudiado.

Dado a que no existe un índice BMWP para Guatemala, se utiliza el índice BMWP adaptado para Costa Rica.

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 son asignadas según el grado de sensibilidad de cada uno.

“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.”<sup>15</sup>

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

Tabla IV. **Puntajes para las familias del índice BMWP-CR**

Puntuación	Familia
9	O Polythoridae D Blephariceridae; Athericidae E Heptageniidae P Perlidae T Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae
8	E Leptophlebiidae O Cordulegastridae; Corduliidae; T Aeshnidae; Perilestidae B Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae Blaberidae
7	C Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae O Gomphidae; Lestidae; T Megapodagrionidae; Protoneuridae; CrPlatystictidae Philopotamidae Talitridae; Gammaridae
6	O Libellulidae M Corydalidae T Hydroptilidae; Polycentropodidae; E Xiphocentronidae Euthyplociidae; Isonychidae

<sup>15</sup> ACUÑA CAMPOS, Esteban. *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del Río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos.* p. 24.

Continuación de la tabla IV.

5	L Pyralidae T Hydropsychidae; Helicopsychidae C Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; E Limnichidae Cr Leptohiphidae; Oligoneuriidae; Tr Polymitarciidae; Baetidae Crustacea Turbellaria
4	C Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae D Dixidae; Simuliidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; Muscidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae H Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae O Calopterygidae; Coenagrionidae E Caenidae H Hidracarina
3	C Hydrophilidae D Psychodidae Mo Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae; A Bythinellidae; Sphaeridae Cr Hirudinea: Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae Asellidae
2	D Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae
1	D Syrphidae A Oligochatea (todas las clases)

Fuente: MINAE-S. *Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales, Decreto 33903- MINAE-S. Costa Rica.* p. 12.

Nota: D: Diptera; E: Ephemeroptera; P: Plecoptera; T: Trichoptera; O: Odonata; C: Coleoptera; M: Megaloptera; H: Hemiptera; L: Lepidoptera; B: Blattodea; Tr: Tricladida; Cr: Crustacea; A: Annelida; Mo: Molusco.

La clasificación de las aguas según este índice adquiere valores comprendidos entre 0 y un máximo indeterminado que no suele superar 200. En función de este puntaje se establecen 6 niveles de calidad para el agua (los primeros dos pertenecen al grupo de aguas no contaminadas).

Tabla V. **Clasificación de la calidad del agua en función del puntaje obtenido**

Nivel de calidad	BMWP	Color representativo
Aguas de calidad excelente.	>120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible.	101-120	Azul
Aguas de calidad regular, eutrófia, 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: MINAE-S. Costa Rica. *Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales, Decreto 33903- MINAE-S. Costa Rica. p. 14.*

#### **4.6. Monitoreo de la calidad del agua**

El monitoreo de calidad del agua es el control de los parámetros de interés de un curso de agua, siguiendo un orden y metodología definidos, para conocer su calidad; así poder tomar decisiones más informadas sobre como gestionar el recurso. Ayuda a evaluar si los impactos de los diferentes usos del agua son aceptables o no según la legislación y parámetros internacionales. Gracias al monitoreo es posible establecer límites asociados a los parámetros de control, generar alertas tempranas y adoptar medidas correctoras antes de que el agua se convierta no apta para un uso determinado. Además, la información del monitoreo puede usarse para involucrar a las comunidades y actores de interés en los cursos de agua en el cuidado y protección del recurso. El monitoreo del agua, es entonces, el proceso mediante el cual se obtienen, interpreta y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de los cuerpos de agua.

Según la UNEP los mecanismos para encontrar y alcanzar las soluciones de la contaminación del agua son:

- Un mejor entendimiento del comportamiento de la calidad del agua a través de un mejor monitoreo.
- Educación más efectiva y comunicación.
- Herramientas financieras y económicas mejoradas.
- Desarrollo de mejores métodos de tratamiento y restauración de ecosistemas.
- Efectiva aplicación de la ley y sanciones institucionales.
- Liderazgo político y compromiso a todo nivel de la sociedad.

Avanzar en el monitoreo y buenas bases de datos históricos son el cimiento de buenos esfuerzos para mejorar la calidad del agua. Adicional, en países en desarrollo, los retos significarán construir capacidades y expertís en el tema y además desarrollar herramientas en tiempo real, de bajo costo, rápido y de confianza. Los recursos son necesarios para construir capacidades nacionales y regionales para captar, manejar y analizar información de calidad del agua.

Los dos grandes problemas de la información de la calidad del agua son que no hay suficiente información y que la información recolectada es raras veces compartida. Hay variedad de tipos de contaminación de agua que no son monitoreados correctamente.

#### **4.6.1. Tipos de programa de muestreo**

Existen tres tipos principales de programa. Estos se pueden describir como control de calidad, caracterización de la calidad, e identificación de las fuentes de contaminación. Las mediciones hechas para propósitos de control de calidad se pueden usar para la caracterización de la calidad y viceversa.

#### **4.6.2. Planificación del monitoreo de la calidad del agua**

Planificar es orientar las acciones, de una manera ordenada y coordinada, para cumplir con un objetivo. En este caso, sería consolidar una base de datos acerca de la calidad del agua, que sirva para la toma decisiones sobre el uso y conservación de este recurso. Se recomienda que un Plan de monitoreo de calidad del agua contenga, al menos, la siguiente información según la OMS:



- Parámetros que deben ser controlados
- Ubicación y frecuencia de la toma de muestras
- Métodos y equipos de análisis y toma de muestras
- Calendarios de toma de muestras
- Responsabilidades y aptitudes del personal
- Requisitos relativos a la documentación y la gestión de la información, incluidos los formatos en que se anotarán y conservarán los resultados del monitoreo.
- Requisitos relativos a la presentación de informes y la comunicación de resultados.

Entonces, un proceso de planificación para monitorear la calidad del agua puede seguir los siguientes pasos:

- Definición del objetivo del monitoreo.
- Determinación de los parámetros a estudiar.
- Determinación de los análisis a realizar y equipos necesarios.
- Determinación de los puntos de muestreo, frecuencia y periodicidad.
- Gestión de la información.

#### **4.7. Muestreo de agua**

Consiste en obtener una muestra, una parte representativa a analizar, de agua que posteriormente será analizada en laboratorio. El muestreo se podrá realizar de forma puntual o compuesta.

Un punto de muestreo es el lugar en donde se recolectará el agua para el análisis. Cualquiera que sea el proceso de determinación de dichos puntos de muestreo, su frecuencia o periodicidad, es necesario dejar constancia de las

razones por las que se establecieron los puntos. Para establecer eficientemente los puntos de muestreo, se busca que sean los suficientes para reflejar el estado del curso del agua sin que lleguen a ser demasiados como para incrementar de manera innecesaria los esfuerzos y costos de los análisis. Se recomienda conocer extensivamente la cuenca hidrográfica para identificar los puntos de muestreo. Se debe considerar toda la cuenca, desde el nacimiento hasta la desembocadura, con los tributarios y usos de suelo asociados. También es importante ubicar posibles fuentes de contaminación.

La frecuencia de muestreo va a depender del tipo de cuerpo de agua que se pretenda monitorear, así como de los objetivos que se persigan.

#### **4.7.1. Muestras puntuales**

En el muestreo puntual se toma la muestra en un determinado punto del cuerpo de agua en una sola operación.

Cuando la composición de una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado o a lo largo de áreas sustanciales, puede decirse que la muestra simple es representativa de un intervalo de tiempo o un volumen más extenso. En tales circunstancias, las características de un cuerpo de agua pueden estar adecuadamente representadas por muestras simples, como en el caso de aguas de suministro, aguas subterráneas, algunos casos de aguas superficiales y de manera extraordinaria en algunas corrientes de aguas residuales.<sup>16</sup>

#### **4.7.2. Muestras compuestas**

En el muestreo compuesto se obtiene dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características, normalmente sobre la sección transversal

---

<sup>16</sup> Autoridad Nacional del Agua - Perú 2016 – DGCRH. *Protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos*. p. 34.

del cauce en el caso de ríos y quebradas o a diferentes niveles de profundidad en el caso de lagos y lagunas.

### **4.7.3. Muestra integrada**

“Consiste en la homogenización de muestras puntuales tomadas en diferentes puntos simultáneamente, con la finalidad de conocer las condiciones de calidad de agua promedio en los cuerpos de agua.”<sup>17</sup>

Dentro de esta clasificación, se ubican las muestras integradas de áreas que comprenden varias muestras simples tomadas en varios puntos de una determinada área acuática (ancho de un río) y las muestras integras de profundidad, que abarcan muestras simples o compuestas tomadas a lo largo de la columna de agua.

El primer caso mide el ancho del río y se divide en cuatro secciones iguales. Se toma muestras a  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  de la sección transversal del río. Posteriormente, se homogenizan partes iguales de cada muestra obtenida.

Para la toma de las muestras integradas en cuerpos de agua profundos, se pueden realizar muestreos puntuales a diferentes profundidades o de todo el segmento de la columna de agua utilizando una manguera muestreadora.

---

<sup>17</sup> Autoridad Nacional del Agua - Perú 2016 – DGCRH. *Protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos*. p. 34.

#### **4.8. Situación geográfica del municipio de Guatemala**

El municipio de Guatemala se ubica en la región metropolitana de la República de Guatemala. Es cabecera del departamento de Guatemala y la capital del país. La extensión del municipio es de 228 kilómetros cuadrados.

##### **4.8.1. Ubicación geográfica del municipio de Guatemala**

El nombre oficial de la ciudad de Guatemala es Nueva Guatemala de la Asunción, es la capital y sede de los poderes gubernamentales de la República de Guatemala, y sede del Parlamento Centroamericano. De acuerdo con el censo realizado en el año 2018, en la ciudad habitan 923 392 personas. La ciudad de Guatemala está ubicada en el área centro-sur del país, en el “valle de la Ermita” y se divide en 25 zonas administrativas (omitiendo las zonas 20, 22 y 23 que pertenecen a otros municipios colindantes). Altitud: 1,500 metros /Latitud: 14° 37' 15" N /Longitud: 90° 31' 36" O /Extensión: 996 km.<sup>18</sup>

La ciudad limita al norte con los municipios de Chinautla y San Pedro Ayampuc; al sur con los municipios de Santa Catarina Pinula, San José Pinula, Villa Canales, San Miguel Petapa y Villa Nueva; al este con el municipio de Palencia; y al oeste con el municipio de Mixco. Todos pertenecientes al departamento homónimo de Guatemala.

##### **4.8.2. Características climáticas**

El clima de Guatemala se origina a partir de los fenómenos que se generan por efecto de la circulación general de la atmósfera, la influencia oceánica, y este va adquiriendo características particulares por la posición geográfica y la topografía del país.

---

<sup>18</sup> PIRRON CASILLAS, Luz. Guatemala, Guatemala. *Análisis de una ciudad capital de la región centroamericana-caribe*. p. 21.

El ciclo lluvioso se produce cuando se establece el régimen de los vientos Alisios del Nordeste, y subsecuentemente la zona de convergencia Intertropical (ZCTI) se aproxima a nuestras latitudes, se dependen sistemas nubosos desde las costa africana y son trasladadas por los vientos alisios que adquieren mayor componente del este (Ondas del Este), a su paso estas ondas del este van generando lluvia y algunas veces adquieren un componente de vorticidad convirtiéndolas en ciclones tropicales, este fenómeno genera una gran cantidad de lluvia durante su paso. La época lluviosa por lo general da inicio en el mes de mayo. En julio y parte de agosto se produce un período seco denominado canícula, esto debido a la inversión de los alisios, y al fortalecimiento del anticiclón del Golfo de México, posteriormente al debilitarse y desaparecer vuelve nuevamente las precipitaciones intensas que completan la temporada lluviosa (septiembre y octubre).

La época seca da inicio con el incremento de la presión atmosférica y la migración de masas de aire frío proveniente de la zona polar (Frentes fríos), causando un descenso de la temperatura e incrementando la velocidad del viento, por lo general se tiene predominancia de viento norte, esta época fría se marca de noviembre a febrero, y posteriormente, se incrementa la temperatura presentándose olas de calor en los meses de marzo y abril. Durante esta época se pueden presentar algunas lluvias locales de tipo convectivo, o prefrontales por la influencia de frentes fríos.

#### **4.8.3. Aspectos socioeconómicos**

El municipio de Guatemala cuenta con un sector, principalmente en la parte norte, que se dedica a la producción de diferentes productos agropecuarios, como café, viveros ornamentales, granjas de pollos y ganadería.

Sin embargo, su economía se centra principalmente en el comercio y los servicios dentro de la ciudad.

La mayor parte de la población económicamente activa se concentra en la zona industrial, Zona Viva, la Zona Financiera, el Centro Cívico y el Centro Histórico. También existe una alta densidad poblacional en áreas comerciales como la Calzada Roosevelt y Boulevard los Próceres. Toda esta actividad comercial hace que la zona metropolitana de la ciudad sea el municipio con menos índice de pobreza en el país con solamente el 6,3 % y que la tasa de alfabetismo sea de más del 95 %, una de las tasas más altas del país. Finalmente, la ciudad de Guatemala posee un mayor porcentaje de personas adultas y de tercera edad que el resto el país, con un 39 %.<sup>19</sup>

#### **4.8.4. Geología y suelo**

Se ha aceptado por la comunidad geocientífica, que la estructura del valle de la ciudad de Guatemala es una depresión de origen tectónico, tipo graben, delimitada por las fallas de Mixco y Pinula. De acuerdo al relieve actual, el desnivel entre los bloques levantados y el graben, donde se encuentra el valle es de 500 m.

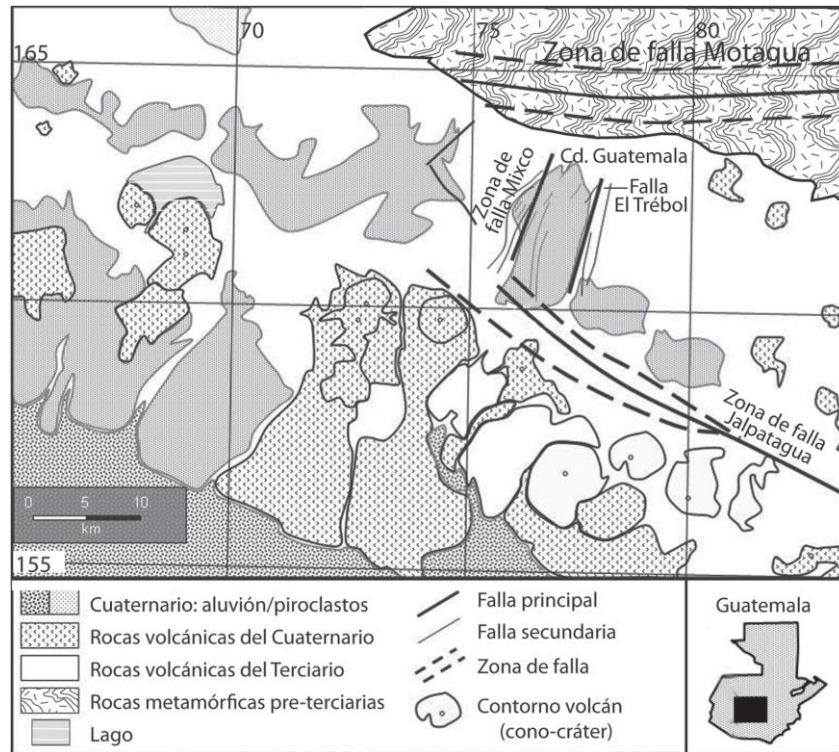
En la interpretación de la estructura del graben de la Ciudad de Guatemala, las fallas de Mixco y Pinula, son fallas normales de gran ángulo, aproximadamente paralelas de 20 km de largo, con una orientación norte a noreste, que por su actividad han provocado la depresión tectónica que se ha rellenado por materiales procedentes de una serie de eventos de flujos de piroclastos. El graben se encuentra delimitado en el norte por rocas intrusivas y metamórficas del Cretácico, al sur de la falla del Motagua; al sur lo limita la cordillera volcánica del Cuaternario, específicamente por los volcanes de Agua y Pacaya.<sup>20</sup>

---

<sup>19</sup> PIRRON CASILLAS, Luz. Guatemala, Guatemala. *Análisis de una ciudad capital de la región centroamericana-caribe*. p. 21.

<sup>20</sup> PÉREZ, Carlos. *Estructura geológica del valle de la ciudad de Guatemala interpretada mediante un modelo de cuenca por distensión*. Guatemala: Revista geológica de América Central. 2009. p. 8.

Figura 1. Estructura del Valle de Guatemala como un graben



Fuente: PÉREZ, Carlos. *Estructura geológica del Valle de la ciudad de Guatemala interpretada mediante un modelo de cuenca por distensión*. Revista geológica de América Central. p. 8.

#### 4.9. Legislación ambiental referente al recurso hídrico en Guatemala

Si bien en la Constitución Política de la República de Guatemala en su artículo 127 manifiesta que una ley específica regulará el aprovechamiento, uso y goce de todas las aguas; no existe aún dicha ley. Pero otras leyes y reglamentos sirven para proteger y regular las aguas.

#### **4.9.1. Constitución Política de la República de Guatemala**

La Constitución Política de la República de Guatemala con respecto al patrimonio natural establece que es de interés nacional la conservación, protección y mejoramiento del patrimonio natural de la Nación y que el Estado fomentará la creación de parques nacionales, reservas y refugios naturales, los cuales deben ser inalienables.

Asimismo, para mantener el medio ambiente y el equilibrio ecológico, el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico y se deben dictar todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.

En cuanto al régimen de aguas se refiere, éstas son bienes de dominio público, inalienables e imprescriptibles y su aprovechamiento, uso y goce, se otorgan en la forma establecida por la ley, de acuerdo con el interés social. El aprovechamiento de las aguas de los lagos y de los ríos, para fines agrícolas, agropecuarios, turísticos o de cualquier otra naturaleza, que contribuya al desarrollo de la economía nacional está al servicio de la comunidad y no de persona particular, pero los usuarios están obligados a reforestar las riberas y los cauces correspondientes, así como facilitar las vías de acceso.



#### **4.9.2. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto No. 68-86)**

La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país.

En cuanto al recurso hídrico, el Gobierno debe velar por el mantenimiento de la cantidad de la misma para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias para:

- Evaluar la calidad de las aguas y sus posibilidades de aprovechamiento, mediante análisis periódicos sobre sus características físicas, químicas y biológicas.
- Ejercer control para que el aprovechamiento y uso de las aguas no cause deterioro ambiental.
- Revisar permanentemente los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas para que cumplan con las normas de higiene y saneamiento ambiental y fijar los requisitos.

#### **4.9.3. Código Penal**

El delito de explotación ilegal de recursos naturales se realiza cuando alguien explota recursos minerales, materiales de construcción, rocas, recursos naturales contenidos en el mar territorial, plataforma submarina, ríos y lagos nacionales, sin contar con la licencia o autorización respectiva o quien teniéndola incumpla o se exceda en las condiciones previstas en la misma, sancionándolo con prisión de dos a cinco años y el comiso de los útiles,

herramientas, instrumentos y maquinaria que hubieren sido utilizados en la comisión del delito. Si este delito fuere cometido por empleados o representantes legales de una persona jurídica o una empresa, buscando beneficio para ésta, además de las sanciones aplicables a los participantes del delito, se le sancionará con multa de cinco mil a veinticinco mil quetzales, si se produce reincidencia se sancionará a la persona jurídica o empresa con su cancelación definitiva. Quedan exceptuados quienes pesquen o cacen ocasionalmente, por deporte o para alimentar a su familia.

El Código Penal, también contempla el delito de contaminación, el cual se realiza cuando se contamina el aire, el suelo o las aguas mediante emanaciones tóxicas, ruidos excesivos, vertiendo sustancias peligrosas o desechando productos que puedan perjudicar a las personas, a los animales, bosques o plantaciones, sancionando al culpable con prisión de uno a dos años, y multa de trescientos a cinco mil quetzales. Si la contaminación se produce en forma culposa, se impondrá multa de doscientos a mil quetzales.

El delito de contaminación industrial se realiza cuando el Director, Administrador, Gerente, Titular o Beneficiario de una explotación industrial o actividad comercial, permite o autoriza, en el ejercicio de la actividad comercial o industrial, la contaminación del aire, el suelo o las aguas, mediante emanaciones tóxicas, ruidos excesivos, vertiendo sustancias peligrosas o desechando productos que puedan perjudicar a las personas, a los animales, bosques o plantaciones, sancionándolo con prisión de dos a diez años y multa de tres mil a diez mil quetzales. Si la contaminación se realiza en una población, o en sus inmediaciones, o afecta plantaciones o aguas destinadas al servicio público, se aumentará el doble del mínimo y un tercio del máximo de la pena de prisión. Si la contaminación se produce por culpa, se impondrá prisión de uno a cinco años y multa de mil a cinco mil quetzales. En los dos delitos mencionados

anteriormente, la pena se aumentará en un tercio si a consecuencia de la contaminación resulta una alteración permanente de las condiciones ambientales o climáticas.

#### **4.9.4. Código de Salud**

En el código de salud se declara que los ríos, lagos, lagunas, riachuelos, nacimientos, y otras fuentes naturales de agua, puedan con base a dictamen técnico, declararse de utilidad e interés público, para el abastecimiento de agua potable, en beneficio de las poblaciones urbanas y rurales de acuerdo con la ley específica.

Así mismo, declara que las municipalidades, industrias, comercios, entidades agropecuarias, turísticas y otro tipo de establecimientos públicos y privados, deberán dotar o promover la instalación de sistemas adecuados para la eliminación sanitaria de excretas. El tratamiento de aguas residuales y aguas servidas, así como el mantenimiento de dichos sistemas. Por lo tanto, es responsabilidad de las municipalidades o de los usuarios de las cuencas o subcuencas afectadas, la construcción de obras para el tratamiento de las aguas negras y servidas para evitar la contaminación de otras fuentes de aguas, ríos, lagos, nacimientos de agua.

De esta manera, queda prohibida la descarga de contaminantes de origen industrial, agroindustrial y el uso de aguas residuales que no hayan sido tratadas sin previo dictamen favorable del Ministerio de Salud.

Constituyen casos especiales de infracciones contra la prevención de la salud, la descarga de contaminantes de origen industrial o usar aguas

residuales no tratadas sin el dictamen favorable de la autoridad competente en ríos, riachuelos, lagos, lagunas, manantiales o fuentes de agua.

## 5. DISEÑO METODOLÓGICO

### 5.1. Variables

Para poder desarrollar e implementar el plan de monitoreo de calidad del agua se consideraron las variables para los índices de calidad del agua y para la selección de puntos de muestreo.

#### 5.1.1. Variables independientes

- Para punto de muestreos
  - Altura de la cuenca
  - Accesibilidad
  - Tipo de cauce
  - Uso de suelo asociados
  - Posibles fuentes de contaminación
  
- Para BMWP-CR
  - Variedad taxonómica
  - Puntuación de macroinvertebrados
  - Número de macroinvertebrados
  - Demanda bioquímica de oxígeno
  
- Para ISQA
  - Temperatura (°C)
  - Demanda bioquímica de oxígeno DBO (mg/L) A
  - Sólidos suspendidos totales (mg/L) B

- Oxígeno disuelto (% de saturación) C
- CE conductividad eléctrica D
- Para ICA-NSF
  - Temperatura (°C)
  - Demanda bioquímica de oxígeno DBO (mg O<sub>2</sub>/L)
  - Oxígeno Disuelto (mg O<sub>2</sub>/L)
  - Sólidos disuelto totales (mg/L)
  - Turbiedad (UNT)
  - Fosfatos (mg PO<sub>4</sub>/L)
  - Nitratos (mg N-NO<sub>3</sub>/L)
  - pH (unidades)
  - Coliformes fecales (NMP/100mL)

### **5.1.2. Variables dependientes**

- Punto de muestreo
- Frecuencia
- Índice simplificado de calidad del agua ISQA
- Índice de calidad del agua ICA-NSF
- Índice BMWP-CR

### **5.2. Delimitación de campo de estudio**

La delimitación del campo de estudio del plan de monitoreo de calidad del agua de los ríos está dentro del campo de la ingeniería ambiental utilizando sistemas de información geográfica. La investigación se realizó dentro de los límites políticos administrativos de la ciudad de Guatemala.

### **5.3. Recurso humano disponible**

- Investigador: Marco Antonio Urrutia Campo
- Asesora: Ing. Jeanny Beatriz Ramírez Sosa

### **5.4. Recurso material disponible**

- GPS
- Computadora
- Cámara fotográfica
- Software SIG
- Impresora
- Material de oficina (papel, grapas, tinta, entre otros)
- Vehículo y combustible

### **5.5. Técnica cualitativa o cuantitativa**

La investigación fue de carácter cualitativo con un enfoque descriptivo. Se describió los accesos a los puntos de muestreo y porqué se escogieron dichos puntos con base a las variables de cada lugar. La investigación no es generalizable para otras regiones.

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

Se utilizó puntos de muestreo utilizados en la Dirección de Medio Ambiente de la municipalidad de Guatemala en estudios de calidad del agua anteriores.

Se ubicó los puntos de muestreo en ARCGIS y posteriormente se verificó los puntos en campo. Se realizaron recorridos, toma de fotografías, se verificó la accesibilidad y estado de la ruta, seguridad, cauce y se georreferenciaron los puntos.

## **5.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

La información obtenida fue registrada por medio de fotografías y coordenadas. Se registró también las rutas y medios de acceso y las características del lugar. A cada punto se le asignó un nombre y un código.

Los datos fueron procesados en el software ARCGIS.

Con la información geográfica y las características de los puntos se realizó un calendario de actividades anual tomando como referencia la época seca y lluviosa en el país.

## **5.8. Análisis de los resultados**

El análisis de los resultados se realizó utilizando sistemas de información geográfica y datos de la línea base de información con la que cuenta la municipalidad.

### **5.8.1. Programas utilizados para el análisis de datos**

- ARCGIS 10.3
  - Se utilizó para ubicar los puntos de muestreo y elaboración de rutas. Luego se elaboraron los mapas.

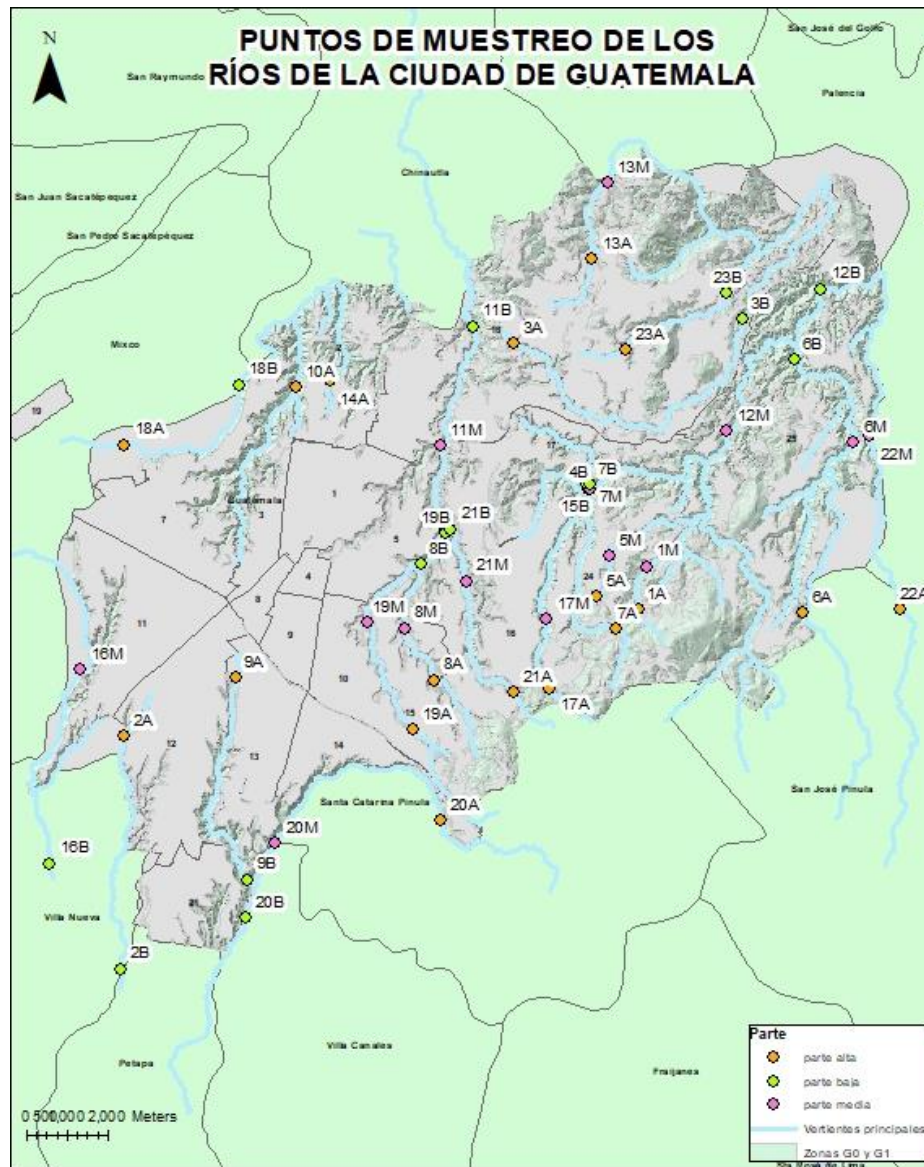


- Microsoft Word 2016
  - Para la redacción del informe.
  
- Excel 2016
  - Ordenamiento de datos.
  
- Google Earth Pro
  - Se utilizó como apoyo durante la elaboración del informe.



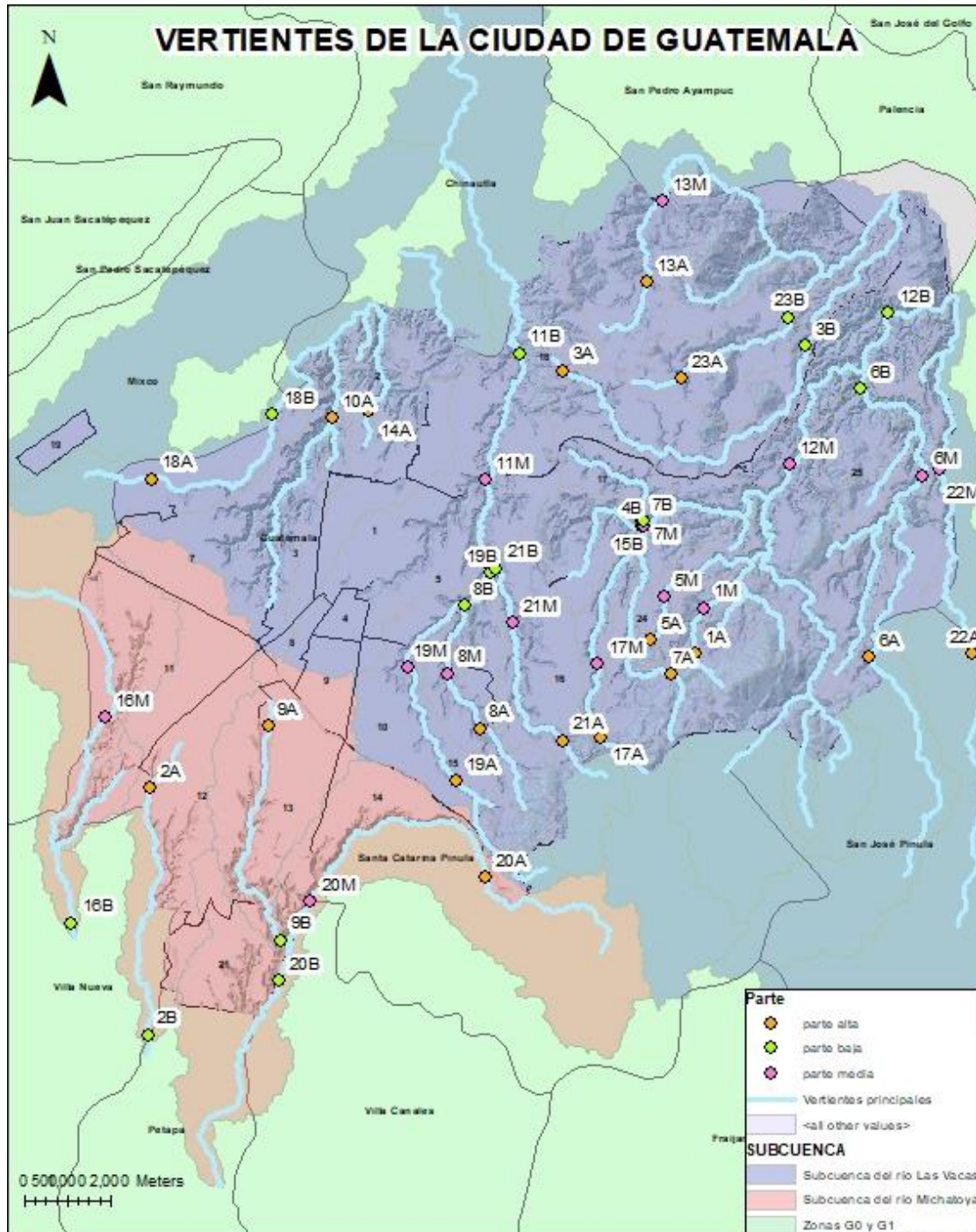
## 6. RESULTADOS

Figura 2. Red de puntos de muestreo de la ciudad de Guatemala



Fuente: elaboración propia, empleando ArcMap 10.3.

Figura 3. Vertientes hidrográficas de la ciudad de Guatemala



Fuente: elaboración propia, empleando ArcMap 10.3.

## 6.1. Resumen de los ríos

La tabla VI muestra un resumen de los ríos de la ciudad con un código único para cada uno y las coordenadas de los puntos de muestreo.

Tabla VI. **Resumen de ríos y puntos de muestreo**

Río	No.	Puntos	Muestras por año	Parte	Código	X	Y
Quebrada El Cangrejo	1	2	20	Media	1M	775 730,98	1 617 884,81
				Alta	1ª	775 531,9	1 616 840,84
Quebrada El Frutal	2	2	20	Alta	2ª	762 967,54	1 613 742,48
				Baja	2B	762 900,603	1 608 047,94
Quebrada El Toro	3	2	20	Alta	3A	772 489,22	1 623 353,77
				Baja	3B	778 071,72	1 623 933,84
Río Aceituno	4	1	10	Baja	4B	774 291,4	1 619 786,96
Río Agua Tibia	5	2	20	Alta	5A	774 513,18	1 617 158,84
				Media	5M	774 814,13	1 618 141,96
Río Bijagüe	6	3	30	Alta	6A	779 549,48	1 616 764,55
				Media	6M	780 785,65	1 620 933,02
				Baja	6B	779 342,38	1 622 946,73
Río Canalitos	7	3	30	Alta	7A	774 969,65	1 616 362,49
				Media	7M	774 339,98	1 619 767,55
				Baja	7B	774 339,50	1 619 884,38
Río Contreras	8	3	30	Media	8M	769 814,08	1 616 382,04
				Baja	8B	770 207,98	1 617 954,17
				Alta	8A	770 556,05	1 615 106,63
Río Guadrón	9	2	20	Alta	9ª	765 688,88	1 615 169,84
				Baja	9B	765 991,73	1 610 228,27
Río La Barranca	10	1	10	Alta	10A	767 161,78	1 622 280,34

Continuación de la tabla VI.

Río Las Vacas	11	3	30	Media	11M	770 706,82	1 620 840,16
				Alta	11A	770 789,15	1 618 883,38
				Baja	11B	771 476,42	1 623 760,01
Río Los Ocotés	12	2	20	Baja	12B	779 983,55	1 624 674,47
				Media	12M	777 692,69	1 621 190,61
Río Los Vados	13	2	20	Alta	13 <sup>a</sup>	774 400,92	1 625 412,04
				Baja	13B	774 778,43	1 627 257,85
Río Marrullero	14	1	10	Alta	14 <sup>a</sup>	767 995,91	1 622 425,59
Río Méndez	15	1	10	Baja	15B	774 284,48	1 619 905,31
Río Molino	16	2	20	Baja	16B	761 152,54	1 610 627,86
				Alta	16 <sup>a</sup>	761 910,09	1 615 358,96
Río Monjitas	17	2	20	Alta	17 <sup>a</sup>	773 361,10	1 614 882,41
				Baja	17B	773 283,50	1 616 609,06
Río Naranja	18	2	20	Baja	18B	765 779,84	1 622 334,74
				Alta	18 <sup>a</sup>	762 980,14	1 620 860,81
Río Negro	19	3	30	Alta	19 <sup>a</sup>	770 012,24	1 613 898,94
				Media	19M	768 919,72	1 616 515,62
				Baja	19B	770 809,37	1 618 703,94
Río Pinula	20	3	30	Alta	20 <sup>a</sup>	770 687,53	1 611 690,01
				Media	20M	766 660,32	1 611 118,79
				Baja	20B	765 928,13	1 609 311,10
Riachuelo Santa Rosita	21	3	30	Baja	21B	770 948,42	1 618 800,67
				Alta	21 <sup>a</sup>	772 476,06	1 614 827,40
				Media	21M	771 327,62	1 617 537,62
Río Teocinte	22	3	30	Baja	22B	782 771,29	1 626 551,84
				Alta	22 <sup>a</sup>	781 918,85	1 616 846,64
				Media	22M	781 179,69	1 621 096,29
Zanjón El Escorpión	23	2	20	Alta	23 <sup>a</sup>	775 201,75	1 623 192,23
				Baja	23B	777 680,014	1 624 583,66
Total		50	500				

Fuente: elaboración propia.

## 6.2. Verificación de puntos de muestreo en campo

Esta etapa consistió en realizar visitas de campo a los sitios de muestreo identificados en ARCGIS. De esa manera se verificó que los puntos si son accesibles, seguros y también que el río realmente pasa por el lugar.

### 6.2.1. Quebrada el Cangrejo

La quebrada el Cangrejo es un pequeño río ubicado en la zona 24.

Tabla VII. Puntos de muestreo río quebrada El Cangrejo

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	775 531,973 161 6840,84	Se ingresa por Canalitos zona 24. El punto queda entre el cantón Las Pilas y el Cantón Las Huertas.
Media	775 730,985 1 617 884,82	Desde Canalitos zona 24 se debe dirigir al cantón Las Delicias.

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.2. Quebrada El Frutal

Forma parte de la cuenca del lago de Amatitlán. Divide la zona 12 con Villa Nueva.

Tabla VIII. **Puntos de muestreo río quebrada El Frutal**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	762 967,544 1 613 742,48	El punto de muestreo de la quebrada El Frutal está ubicado en la zona 12, entrando por la Universidad de San Carlos, atrás de la planta de tratamiento de aguas residuales de la universidad. El acceso es de dificultad media.
Baja		El punto de acceso al río en la parte baja se encuentra en el camino que va de Ciudad Real hacia El Frutal, cercano a la planta de tratamiento de EMPAGUA Ojo de Agua.

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.3. Quebrada El Toro

La quebrada El Toro atraviesa la zona 18 de oeste a noreste. Es poco caudaloso y recibe gran cantidad de aguas residuales de la parte poblada de la zona.

Tabla IX. **Puntos de muestreo río quebrada El Toro**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	772 489,222 1 623 353,77	La parte alta del río es en el cementerio Las Tapias zona 18, a un lado de la colonia los Olivos. Principalmente se observa aguas residuales de las colonias vecinas.
Baja	778 071,723 1 623 933,84	En la colonia Guamilco hay un pequeño puente que conecta con la aldea Lo de Rodríguez.

Fuente: elaboración propia.



#### 6.2.4. Río Aceituno

El río Aceituno es un pequeño río que sirve de frontera entre la zona 16 y zona 17. Desemboca en el río Canalitos.

Tabla X. **Puntos de muestreo río Aceituno**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Baja	774 291,499 1 619 786,96	El punto de muestre está en la frontera entre zona 17 y zona 24 en el puente antes de llegar a zona 24. Cerca está el punto de muestreo del río Méndez y Canalitos.

Fuente: elaboración propia.

#### 6.2.5. Río Agua Tibia

El río Agua Tibia se ubica en la zona 24 y pasa por los cantones El Porvenir, cantón Central y El Jaguey. Desemboca en el río los Ocotes.

Tabla XI. **Puntos de muestreo río Agua Tibia**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	774 513,19 1 617 158,84	El punto de muestreo de la parte alta se encuentra en el camino que va del cantón central hacia el cantón Las Pilas.
Media	774 814,14 1 618 142,00	El punto medio se encuentra en el camino del cantón central hacia el cantón Las Delicias zonas 24.

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.6. Río Bijagüe

El Río Bijagüe es una vertiente del río Motagua. Es uno de los ríos que según los estudios de calidad del agua realizados previamente por la Dirección de Medio Ambiente tiene agua menos contaminada en ciertas épocas del año.

Tabla XII. **Puntos de muestreo río Bijagüe**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	779 549,481 1 616 764,56	El punto de muestreo en la parte alta es de fácil acceso. Queda ubicado en un puente que queda en la carretera que comunica la aldea El Paraíso, Palencia con Los Ocotes. Es la misma ruta utilizada para la parte alta del río Teocinte.
Media	780 785,651 1 620 933,02	Para llegar al punto medio del río se debe de llegar a la aldea Las Canoas en zona 25 y dirigirse a la colonia las Cebadillas. En el camino se encuentra el punto medio del río Bijagüe y del río Teocinte.
Baja	779 342,381 1 622 946,74	Ingresando por la colonia El Buen Pastor en zona 25. El acceso es de dificultad media porque no tiene acceso para vehículos. La carretera es de terracería, la mitad transitable en vehículo alto, y el resto intransitable para vehículos, solo a pie. Sin embargo, el tiempo caminando es de aproximadamente media hora a una hora sin ningún contratiempo.

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.7. Río Canalitos

El río Canalitos es un importante río que delimita la zona 16 de la zona 24 y la zona 17 de la zona 24. Este río desemboca en el río Los Ocotes.

Tabla XIII. Puntos de muestreo río Canalitos

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	774 969,659 1 616 362,5	El punto alto del río Canalitos está yendo de Vista Hermosa IV zona 16, camino al cantón las Pilas zona 24.
Media	774 339,985 1 619 767,55	El punto de muestreo está en la frontera entre zona 17 y zona 24 en el puente ubicado antes de llegar a zona 24. Cerca está el punto de muestreo del río Méndez y Aceituno. Este punto es antes de la unión del río Méndez, Aceituno y Canalitos.
Baja	774 339,506 1 619 884,38	Este punto es se ubica después de que se unen el río Méndez, Aceituno y Canalitos.

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.8. Río Contreras

Este río atraviesa la zona 15 y sirve de división de la zona 15 con la zona 16.

Tabla XIV. **Puntos de muestreo río Contreras**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	770 556,051 1 615 106,63	Ingresando a la colonia Ciudad Vieja I, zona 16, se debe dirigir hacia el final de la colonia y bajar por el barranco. Se debe de tener acompañamiento de la alcaldía auxiliar.
Media	769 814,089 1 616 382,04	En el Bulevar Rafael Landivar zona 16 se ingresa al barranco que divide zona 15 de zona 16. Es de fácil acceso.
Baja	770 207,983 1 617 954,18	El punto se encuentra en la Calzada La Paz, en el parque Ecológico Jacarandas de Cayalá zona 16.

Fuente: elaboración propia.

### **6.2.9. Río Guadrón**

El río Guadrón divide la zona 12 y 13. Desemboca en el río Pinula que forma parte de la cuenca de Amatitlan.

Tabla XV. **Puntos de muestreo río Guadrón**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	765 688,884 1 615 169,85	El punto de muestreo está en el Parque Ecológico Lomas de Pamplona, dentro de la colonia Lomas de Pamplona zona 13. Es de fácil acceso.
Baja	765 991,736 1 610 228,27	El punto de muestreo de la parte baja es a través de la colonia Nuevo Amanecer, zona 21. El acceso es de dificultad media porque se recomienda acompañamiento de la alcaldía auxiliar y personas de la comunidad y se debe de bajar a pie.

Fuente: elaboración propia.

#### 6.2.10. Río La Barranca

El río es divisorio de la zona 7 con la zona 3; y de la zona 7 con la zona 2. Este río está muy contaminado por desechos sólidos.

Tabla XVI. **Puntos de muestreo río La Barranca**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Media	767 161,786 1 622 280,34	El punto de acceso es a través del asentamiento El Mirador II de la Bethania, zona 7. Es de dificultad media porque se debe de bajar a pie, la mitad del camino tiene gradas de concreto y el resto es camino de tierra. El camino es bastante empinado. Se debe de solicitar acompañamiento de la alcaldía auxiliar y personas de la comunidad.

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.11. Río Las Vacas

El río Las Vacas es un río de mucha importancia para el país porque desemboca en el río Motagua y ha sido afectado por la contaminación. El río divide la zona 5 de la zona 17; y la zona 6 de la zona 18.

Tabla XVII. Puntos de muestreo río Las Vacas

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	770 789,159 1 618 883,39	El punto de fácil acceso en carro por la intersección llamada "Cuatro Caminos" en zona 16. El punto se ubica antes de unirse con el río Negro.
Media	770 706,822 1 620 840,16	De acceso en vehículo abajo del puente Belice en la entrada al asentamiento La Paz, zona 6.
Baja	771 476,427 1 623 760,02	Ingresando por la colonia Proyectos 4-3 dirigiéndose a los asentamientos que se encuentran en el barranco donde pasa el río Las Vacas. El nivel de delincuencia es alto en el sector por lo que se debe de ir acompañados de líderes del lugar, alcaldía auxiliar y policía.

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.12. Río Los Ocotes

El río Los Ocotes queda en el norte de la ciudad capital y atraviesa las zonas 24 y 25. Desemboca en el río Teocinte.

**Tabla XVIII. Puntos de muestreo río Los Ocotes**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Media	777 692,70 1 621 190,62	El río en la parte alta tiene acceso para toma de muestras a un costado de un puente en la carretera a la colonia El Buen Pastor en zona 25.
Baja	779 983,56 1 624 674,48	En la parte baja el río tiene acceso por la colonia San José el Amate zona 25. Para llegar al río se debe dejar el vehículo en la colonia y caminar hacia el barranco. Se puede bajar el barranco por un sendero caminable sin embargo se recomienda tener buen estado físico. El tiempo de camino es de entre media y una hora a pie.

Fuente: elaboración propia.

### **6.2.13. Río Los Vados**

El río Los Vados se ubica en la zona 18. El río está rodeado de colonias y de actividad agropecuaria como cultivos de café, crianza de pollos y ganadería.

**Tabla XIX. Puntos de muestreo río Los Vados**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	774 400,92 1 625 412,05	La parte alta se encuentra en la parte de atrás de la colonia La Estancia Feliz.
Media baja	774 778,44 1 627 257,86	La parte media del río Los Vados se encuentra en la aldea Los Vados, fronteriza con el municipio de San Pedro Ayampúc.

Fuente: elaboración propia.

#### 6.2.14. Río Marrullero

El río Marrullero atraviesa la zona 2 de sur a norte. Está rodeado de mucha vegetación y tiene pocos puntos de acceso.

Tabla XX. **Puntos de muestreo río Marrullero**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	767 995,918 1 622 425,6	Se ingresa por el parque Minerva zona 2. El punto es de difícil acceso y se recomienda ir acompañado.

Fuente: elaboración propia.

#### 6.2.15. Río Méndez

El río Méndez es un pequeño río que atraviesa la zona 17 y desemboca en el río Canalitos.

Tabla XXI. **Puntos de muestreo río Méndez**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Baja	774 284,484 1 619 905,31	Se entra por zona 17 hasta el final de la carretera principal con dirección a Canalitos zona 24. El punto queda en el puente antes de empezar a subir por la carretera a zona 24. A pocos metros está el punto de muestreo de la parte baja del río Aceituno y del Canalitos.

Fuente: elaboración propia.



### 6.2.16. Río Molino

El río Molino divide la zona 11 de Mixco. Forma parte de la cuenca del lago de Amatitlán.

Tabla XXII. Puntos de muestreo río Molino

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Media	761 910,092 1 615 358,96	Está ubicado en el puente que conecta zona 11 con Majaditas, San Cristóbal.
Baja	761 152,547 1 610 627,87	Al final de la calzada Aguilar Batres, antes de llegar a la cuesta de Villalobos por el centro comercial Interplaza Sur.

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.17. Río Monjitas

El río Monjitas atraviesa toda la zona 16 de sur a norte recibiendo las aguas residuales de muchas viviendas de toda la zona. Desemboca en el río Canalitos

Tabla XXIII. Puntos de muestreo río Monjitas

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	773 361,101 1 6148 82,41	El punto de muestreo es accesible en vehículo por la carretera al Pulté zona 16. Queda en el puente el Pulté.
Media	773 283,503 1 616 609,07	Por la colonia Hacienda Real zona 16, se debe de bajar el barranco para llegar al río. La dificultad es media para llegar al punto.

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.18. Río Naranja

Este río divide la zona 7 con el municipio de Mixco. Forma parte de la vertiente del Motagua.

Tabla XXIV. **Muestreo río Naranja**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	762 980,142 1 620 860,81	El acceso al río en la parte alta está a un costado de la Finca el Naranja, en el puente que comunica Tulam Zu con el Naranja.
Media	765 779,846 1 622 334,74	Se debe de ingresar al asentamiento Hermano Pedro en la colonia Amparo I. zona 7. Se baja por el asentamiento para llegar al río.

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.19. Río Negro

El río Negro divide la zona 10 de la zona 15; y la zona 5 de las zonas 10 y 15. En algunos sectores este río está entubado. Desemboca en el río Las Vacas.

Tabla XXV. **Puntos de muestreo río Negro**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	770 012,246 1 613 898,95	Ingresando por el Bulevar Los Próceres, se debe de cruzar en la colonia Alcázar zona 10. Luego se debe de bajar a pie por un asentamiento.
Mediana	768 919,727 1 616 515,62	En el “Columpio de Vista Hermosa” se debe de bajar por el barranco. El sector es caminable.
Baja	770 809,377 1 618 703,95	El punto de muestreo de la parte baja es al final de la calzada La Paz, en cuatro caminos zona 16. Se ubica antes de unirse con el río Las Vacas.

Fuente: elaboración propia.

#### **6.2.20. Río Pinula**

El río Pinula es divisorio de la zona 14 con el municipio de Santa Catarina Pinula; de la zona 13 con el municipio de Villa Canales; y de la zona 21 con Villa Canales. Forma parte de la cuenca del lago de Amatitlán.

Tabla XXVI. **Puntos de muestreo río Pinula**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta		El acceso al río en la parte alta está en la carretera a Muxbal, yendo del Pueblito Santa Catarina Pinula hacia la zona 10 de la ciudad capital.
Media	766 660,323 1 611 118,8	El punto es de acceso en carro por el parque privado X-Park, carretera a Boca del Monte. Se debe pedir autorización al parque.
Baja	765 928,137 1 609 311,11	Se entra por la colonia Justo Rufino Barrios en la 34 avenida, calle del INTECAP. Se debe de bajar por una calle de terracería que lleva al río Pinula, paralelo a la carretera Vía Alternativa al Sur VAS.

Fuente: elaboración propia.

### **6.2.21. Riachuelo Santa Rosita**

El Riachuelo Santa Rosita atraviesa la zona 16 de sur a norte y recibe gran cantidad de aguas residuales de la zona. Desemboca en el río Las Vacas.

Tabla XXVII. **Puntos de muestreo riachuelo Santa Rosita**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	772 476,06 1 614 827,40	La parte alta del río se encuentra en el camino que va de residenciales La Montaña hacia San Isidro, a un costado del ingreso a residenciales Las Cumbres.
Media	771 327,62 1 617 537,62	Se encuentra en el puente dirigiéndose desde el redondel del bulevar Austriaco hacia el parque ecológico Kanajuyú.
Baja	770 948,43 1 618 800,68	En la aldea Las Vacas, en Cuatro Caminos, calzada La Paz.

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.22. Río Teocinte

El río Teocinte se encuentra en el norte de la ciudad, es divisorio de la ciudad capital con el municipio de Palencia.

Tabla XXVIII. **Puntos de muestreo río Teocinte**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	781 918,857 1 616 846,64	El punto de muestreo en la parte alta es de fácil acceso. Queda ubicado a la orilla de la carretera que comunica la aldea El Paraíso, Palencia con Los Ocotes.
Media	781 179,693 1 621 096,29	Para llegar al punto medio del río se debe de llegar a la aldea Las Canoas en zona 25 y dirigirse a la colonia las Cebadillas. En el camino se encuentra el punto medio del río Bijagüe y del río Teocinte.
Baja	782 771,295 1 626 551,85	El punto de muestreo de la parte baja es de fácil acceso ingresando a Palencia por la carretera al atlántico.

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.23. Río Zanjón El Escorpión

El río Zanjón El Escorpión se encuentra en la zona 18. Pasa en medio de muchas urbanizaciones por lo que lleva gran cantidad de aguas residuales domiciliarias.

Tabla XXIX. **Puntos de muestreo río Zanjón El Escorpión**

Parte	Punto de muestreo	Descripción
Alta	775 201,75 1 623 192,23	A la parte alta se entra por el camino de la colonia Alameda hacia el asentamiento 5 de noviembre en un pequeño puente.
Baja	777 680,01 1 624 583,67	La parte baja del río se encuentra en un pequeño puente en la lotificación Vistas del Atlántico. Entrando por un lado de la colonia Santa Luisa.

Fuente: elaboración propia.

### 6.3. Frecuencia de muestreo

Los ríos se monitorearán durante 5 semanas consecutivas en la época seca y 5 semanas seguidas en la época lluviosa.

Tabla XXX. Frecuencia de monitoreo

Época seca / Época lluviosa	Parte	Fecha	T	DOO	SST	SDT	O <sub>2</sub>	CE	pH	Nitratos	Fosfatos	Coliformes fecales	Turbiedad
	Alta	Semana 1											
	Media												
	Baja												
	Alta	Semana 2											
	Media												
	Baja												
	Alta	Semana 3											
	Media												
	Baja												
	Alta	Semana 4											
	Media												
	Baja												
	Alta	Semana 5											
	Media												
Baja													

Fuente: elaboración propia.

#### 6.4. Procedimiento para la toma de muestras

Se toma en cuenta el procedimiento administrativo y técnico para el muestreo en los ríos.

Tabla XXXI. Procedimiento para toma de muestra

Paso	Actividad
1	Ubicar los puntos a muestrear
2	Solicitar acompañamiento a alcaldías auxiliares o personal de DMA
3	Preparación de equipo y material para toma de muestras
4	Recolección de muestra
5	Traslado a laboratorio
6	Cálculo de ISQA, ICA y BMWP-CR
7	Ordenamiento de información
8	Divulgación de información

Fuente: elaboración propia.

## Descripción de cada paso

- Ubicar puntos de muestreo

En la sección 6.1 y 6.2 se describen cada punto de muestreo con sus coordenadas y en el apéndice se puede ver un mapa para cada río con sus puntos de muestreo. Con las coordenadas, usando sistemas de información geográfica, se debe crear las rutas de muestreo, priorizando realizar la toma de muestras del mismo río el mismo día.

- Acompañamiento de alcaldías auxiliar y DMA

Las alcaldías auxiliares tienen al personal más cercano al lugar y a las personas de la comunidad; y en la Dirección de Medio Ambiente también hay personal que conoce los puntos de muestreo. Por lo tanto, se debe solicitar con anticipación el acompañamiento para cada muestreo.

- Preparación de equipo

Para la toma de muestras se debe preparar el siguiente material y equipo

Para análisis fisicoquímico:

- Envases de plástico o vidrio inertes al agua de 2 L de capacidad como mínimo, con tapones del mismo material que proporcione cierre hermético.
- Termómetro en escala  $-10^{\circ}$  y  $110^{\circ}$  °C.
- Potenciómetro.
- Hielera con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo.
- Cubeta de plástico.



- Red para plancton.
- Agua para beber.
- Repelente contra insectos.
- Botas impermeables.
- Sombrero o gorra.
- Agua destilada.
- Mapas.
- Cámara.
- GPS.
- Libreta de apuntes.
- Lapicero.
- Carro tipo pick-up.

#### BMWP

- Red de muestreo tipo D (cedazo de 1 mm).
  - 30 botes de plástico para muestra de sedimentos.
  - 30 botes de plástico para las muestras de macroinvertebrados.
  - 30 botes de plástico de un litro para las muestras de agua.
  - Alcohol etílico (70 %).
  - Glicerina.
- La recolección se realiza de la siguiente manera
    - Enjuague de equipo

Enjuagar la botella llenando con suficiente muestra y rotando para cubrir todas las superficies internas. Disponer del agua de enjuague aguas abajo del sitio de muestreo, a manera que no contamine o disturbe el sitio a ser

muestreado. Desechar el agua de enjuague o exceso en el volumen de la muestra a manera que no sea una fuente de contaminación. No tapar la botella hasta que la muestra haya sido tomada, a menos que exista la probabilidad de una contaminación aérea.

- Muestreo directo

Introducirlo en el cuerpo de agua a ser muestreado, a contracorriente contra el flujo de agua, retirar el tapón del recipiente (fijar en el lugar) y mantener éste en una mano. Sumergir el cuello del recipiente abierto bajo la superficie del agua hasta que alcance una profundidad de cerca de 25 cm. Si hay poca profundidad en el agua, asegurarse de que la muestra no se contamine por sedimentos del fondo.

Inclinar el cuello del recipiente de tal forma que los puntos estén ligeramente hacia arriba de la superficie y en el flujo. Permitir que el recipiente se llene lo necesario. En la mayoría de los casos, llenar de forma vertical el recipiente hasta el tope para desalojar el aire, porque el intercambio de gas puede cambiar rápidamente la calidad de la muestra.

- Etiquetado

Todo el equipo de muestreo y los procedimientos deben ser documentados y registrados en un registro o bitácora de campo, con objeto de facilitar la repetición segura de acuerdo con la escala temporal en la cual la muestra ha sido tomada.

- BMWP

Mecanismo de muestreo: muestra compuesta de tres submuestras con red de mano, cada una recolectada en un tiempo de 5 minutos. El muestreo se realiza con el desplazamiento por el microhábitat identificados en el sitio, removiendo el fondo del río y colectando el material removido en la red. En caso de que el volumen de la muestra resulte inmanejable, se podrá proceder a una división aleatoria de la muestra, en la cual cada submuestra será representativa de la muestra total.

La preservación de la muestra de sedimentos: con alcohol etílico a 70 %; preservación de los organismos: en etanol de 70°.

- Traslado a laboratorio

De ser necesario, almacenar todo el equipo de muestreo y los recipientes. Las instalaciones deben estar en condiciones a manera de que el equipo de muestreo se mantenga limpio. La contaminación debe ser prevenida en todo momento.

Los recipientes que contengan las muestras se deberían proteger y sellar en tal forma que no se deterioren, ni su contenido sufra alguna pérdida durante el transporte. El material del empaque debe proteger los recipientes de una posible contaminación externa y ruptura, en especial cerca de la abertura, y el mismo no debería de ser fuente de contaminación.

El vehículo debe estar acondicionado con rejillas para el equipo y prevenir cualquier movimiento que pueda causar su rotura. Esto es

especialmente importante para las botellas de vidrio, botellas con preservadores y medidores manuales.

- Cálculo ISQA, ICA y BMWP-CR

De la identificación de los organismos bentónicos. Todos los organismos bentónicos recolectados deberán ser identificados hasta el máximo nivel taxonómico posible. El mínimo nivel que se aceptará es el de familia, con excepción del Filo Annelida.

Se debe de usar la tabla III del marco teórico para asignar valores a los macroinvertebrados encontrados.

El ISQA se calcula con la siguiente fórmula:

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

En la sección 4.3.1.3. se encuentra la descripción completa de como calcular el ISQA.

El ICA se calcula con la siguiente formula:

$$ICA - NSF = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$$

En la sección 4.3.1.2.1.se encuentra el procedimiento completo de como calcular el ICA

- Ordenamiento de información

Una vez obtenidos los resultados de los índices de calidad fisicoquímicos y biológicos, se debe ordenar la información y hacer los análisis respectivos. Para la mayoría de ríos se obtendrán calidad en tres partes del río, alta, media y baja. Con esta información se deberán realizar mapas para mejor interpretación y guardar esa información en los atributos de los puntos de muestreo seleccionados. Se propone la siguiente tabla.

Tabla XXXII. **Ejemplo de tabla de atributos para índices de calidad**

Código del río	Código del punto	1ICA_2020	2ICA_2020	1ISQA_2020	2ISQA_2020	1BMWP_2020	2BMWP_2020

Fuente: elaboración propia.

El código del río y de los puntos de muestreo ya están establecidos en la tabla No. 122345. Luego se ponen los índices de calidad obtenidos para la época seca en las columnas que inician con 1, y los índices de calidad de la época lluviosa en las columnas que inician con el número 2.

- Divulgación de la información

Se recomienda hacer un informe anual y una presentación de los resultados obtenidos. Primero se debe de presentar el informe y los resultados a las autoridades de la Dirección de Medio Ambiente, informando cuales son las

posibles causas de las diferentes calidades de aguas obtenidas. Luego se debe socializar los resultados.

#### **6.5. Propuesta de cronograma de actividades**

El cronograma se basa en la planificación, toma de muestras, análisis de resultados y presentación de resultados.

Tabla XXXIII. Cronograma de actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA																																										
ACTIVIDADES	Año	1					2					3																														
	Me s	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D												
A) Planificación																																										
Determinación de material y equipo necesario para el siguiente año.		x	x	x											x	x	x																									
Determinación de recurso humano disponible y requerido.		x	x	x											x	x	x																									
Elaboración del POA.				x	x	x											x	x	x																							
Determinación del orden de los ríos para tomar muestras.					x	x													x	x																						
B) Toma de muestras y evaluaciones de laboratorio.																																										
Toma de muestras en campo.							X	x	x	x	X	x	x								x	x	x	X	x	x	x															
c) Análisis e interpretación de resultados.																																										
Análisis de resultados en gabinete.							X	x	x	x	X	x	x	x	x						x	x	x	X	x	x	x	x	x													
Elaboración de informes.															x	x																										
d) Presentación de resultados a autoridades y comunidades.																																										
Presentación de resultados a la Dirección de Medio Ambiente.																																										
Presentación de resultados a autoridades municipales.																																										
Presentación de resultados a comunidad.																																										

Fuente: elaboración propia.





## **7. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

### **7.1. Puntos de muestreo**

Para poder determinar los puntos de muestreo se revisaron estudios y normas nacionales e internacionales. Las características que se buscaron para cada punto fueron: la representatividad, distribución a lo largo de la cuenca, accesibilidad y seguridad.

Las características de la mayoría de los puntos de muestreo es que son en puentes. La ciudad es principalmente urbana, según el censo poblacional 2018 la población es 100 % urbana, pero en la parte norte de la ciudad se desarrollan actividades agrícolas y forestales que son distintas a las zonas centrales y eminentemente industriales y urbanizadas.

En los ríos que reciben el afluente de otro río, se ubicó el punto de muestreo aguas abajo a una distancia que se consideró suficiente para que el agua tenga una mezcla homogénea. Esto ocurrió en los puntos 20 B, parte baja del río Pinula; 11 A, parte alta del río Las Vacas; Y el punto 7 B, parte baja del río Canalitos.

No se le debe de restar importancia al análisis que se puede obtener de muestrear aguas abajo de los ríos cuando reciben el afluente de otro río. Conociendo la calidad del agua en un punto abajo de la unión de dos o varios ríos, se puede determinar la carga de contaminación que aporta un río a otro, o la mejora de la calidad por la mezcla que tienen. Sin embargo, la variable de la accesibilidad y seguridad de los puntos puede limitar el acceso a estos puntos.

Por lo general se suele pensar que en la parte baja del río la calidad del agua puede disminuir porque hay mayor extensión para recibir contaminantes, sin embargo, según estudios anteriores se ha determinado que esto no es una constante. Hay diferentes factores que afectan, por ejemplo, una descarga de aguas residuales muy contaminantes en la parte alta y que en el resto del río se diluye, presentará mejores índices de calidad que en la parte alta. Es por esto que tener información de uso del suelo bien detallada, a nivel local y de microcuenca será una herramienta indispensable para la toma de decisiones para la mejora de la calidad ambiental.

En total se seleccionaron 50 puntos de muestreo para 23 ríos. A cada río se le asignó un código, aleatoriamente, que va del número 1 al 23. Y de igual manera se le asignó un código a cada punto de muestreo, el cual empieza con el código del río y le precede las letras A, M o B que se refieren a Alta, Media o Baja respectivamente. Teniendo los puntos de muestreo codificados será más fácil el ordenamiento de la información, el etiquetado de muestras y la identificación. Si en el futuro se habilitan nuevos puntos de muestreo se recomienda seguir la misma lógica usada.

## **7.2. Frecuencia**

La frecuencia de monitoreo de un río debe de ser según los objetivos que se tienen. Tener una frecuencia muy alta puede implicar en gastos innecesarios cuando los objetivos no requieren de tantos datos. O puede ser que una frecuencia muy baja arroje datos no representativos cuando el nivel de estudio requiere datos más puntuales en tiempos muy cortos. Si una investigación tiene como objetivo determinar cómo afecta la descarga de aguas residuales de una empresa textilera, aguas abajo, a lo largo de una semana, evidentemente se deberán realizar varios muestreos diarios para poder detectar los horarios con

mayores aportes de contaminantes y poder tener tendencias diarias a lo largo de una semana. Pero si un estudio busca caracterizar la calidad del agua de un río a lo largo de un año, un monitoreo diario puede ser excesivo e implicar gastos innecesarios y hacer del proyecto poco sostenible.

Un plan de caracterización de la calidad dentro de un programa de investigación a largo plazo requerirá una frecuencia de muestreo más baja que para una investigación a corto plazo. En este plan se propuso una frecuencia de 10 veces por año, cinco por cada época climática. Pero cuando se requieran análisis a corto plazo en uno o varios ríos en específico, se podrá aumentar la frecuencia para obtener datos más representativos en tiempo. Por lo tanto, los objetivos del programa de monitoreo de calidad del aire, pueden cambiar la frecuencia y de ser muy específica un área de interés, se podrá establecer un punto de muestreo para atender esos objetivos.

Siempre se requiere que haya suficientes datos para poder hacer análisis estadísticos y ver tendencias. Con cinco muestreos, uno por semana, por cinco semanas consecutivas, por época climática, se pueden realizar análisis estadísticos. Para poder decidir las frecuencias de muestreos en cualquier programa se debe de contar con una línea base de información. Idealmente se debe de comenzar con una alta frecuencia de muestreo para identificar que técnicas estadísticas se pueden aplicar. En el caso de la Dirección de Medio Ambiente de la municipalidad de Guatemala, ya se cuenta con una línea base bastante sólida, con la investigación de la calidad de los ríos mencionados en los antecedentes y otros a nivel interno. La frecuencia utilizada en estas investigaciones, y también en otras a nivel nacional e internacional ha sido de 5 veces por época climática y se ha demostrado que se pueden realizar análisis estadísticos.

Tomando en cuenta que por punto de muestreo se realizarán diez muestreos, en total son 500 muestreos anuales. Si un muestreo tiene un valor comercial de mil quetzales para ambos análisis fisicoquímicos, ISQA e ICA, se debería contar con presupuesto disponible de Q500 000,00, despreciando gastos operativos, recurso humano para recolección.

### **7.3. Procedimiento**

Para ejecutar el plan de monitoreo de calidad de agua de los ríos del municipio de Guatemala se debe de seguir ciertos pasos que garantizarán desde la seguridad de las personas responsables de recolectar las muestras, la integridad de la muestra que se llevará a laboratorio y la entrega de los resultados.

Esta parte del plan es de suma importancia porque de esto dependerá que se obtengan resultados de calidad y en los tiempos estipulados.

La primera parte es seleccionar los puntos a muestrear y pedir apoyo a las alcaldías auxiliares y personas de las comunidades. Al tener acompañamiento de las personas del lugar se les involucra en las actividades y se garantiza la seguridad de los muestreadores. Muestreando todos los puntos de un mismo río y de su afluente o efluente, según sea el caso, se obtiene resultados más homogéneos, se economiza tiempo y recursos, tanto del muestreador como de las personas de las alcaldías auxiliares. Por lo tanto, esta programación debe de ser muy cuidadosa y considerar el tiempo suficiente para poder tomar las muestras en cada punto.

Luego sigue la fase de la recolección de muestras y traslado a laboratorios que es la parte que requiere de conocimiento y experiencia técnica. Para esto

se requiere que el responsable tenga conocimientos teóricos y prácticos en las ciencias ambientales como personas profesionales o con estudios avanzados de ingeniería ambiental, química o biología. El tiempo que se lleve en la recolección de muestras dependerá mucho de la experiencia que tenga el muestreador y de las características físicas del lugar. Luego se debe realizar el traslado de la muestra al laboratorio seleccionado siguiendo todas las recomendaciones para cuidar la integridad de la muestra.

Posteriormente los cálculos de los índices de calidad se realizan al obtener los resultados del laboratorio. Se recomendó realizar los análisis de ISQA, ICA y BMWP para poder correlacionar y tener más de un índice de soporte en los resultados. También se estará analizando un índice biológico con dos índices fisicoquímicos, lo cual aumenta el rango de análisis de estos datos. Esta información se debe de analizar individualmente por punto, integralmente como río, luego a nivel de cuenca y más globalmente como ciudad. Se podrá observar que la calidad de un río en su parte alta se puede ver afectada por un afluente, o caso contrario, el afluente puede diluir la contaminación en el río receptor. Pero no solo depende del afluente y efluente, sino de las actividades y dinámicas que se desarrollan en la cuenca hidrográfica. Una descarga de aguas residuales afecta directamente al efluente, pero las actividades agrícolas, la erosión, lluvia ácida, entre otros, pueden afectar de forma más difusa a los ríos de una cuenca. El ordenamiento de la información será importante que sea ordenado y pensado a futuro. Esto se refiere a que cuando la base de datos histórica sea grande y de muchos años, el ordenamiento de la información sea el ideal para los análisis que se harán en el futuro.

La divulgación de la información no es menos importante que la generación de la información. Divulgando la información con las autoridades y todos los involucrados en las actividades de las cuencas es la forma de

involucrar a todos los sectores. Se debe de mantener el enfoque de cuenca, de que las actividades que se desarrollan dentro de una misma cuenca son las que afectarán la calidad ambiental del río. Tanto los factores dentro de una cuenca que afectan al río, como las soluciones, medidas correctivas o de mitigación, estarán dentro de la misma cuenca.

## CONCLUSIONES

1. Con base en los análisis realizados con sistemas de información geográfica, las visitas de campo y los estudios realizados anteriormente se determinó que se debe de monitorear la calidad del agua en la parte alta, media y baja de un río para que los análisis sean representativos a lo largo del río. Sin embargo, por accesibilidad o seguridad no en todos los ríos se pudo ubicar 3 puntos de muestreo. Se ubicaron 50 puntos de muestreo en 23 ríos de la ciudad. Sin embargo, se pueden implementar nuevos puntos según cambien las condiciones de acceso y objetivos del muestreo.
2. Según los estudios realizados anteriormente, por el tipo de monitoreo y para poder realizar análisis estadísticos, se estableció una frecuencia de monitoreo por punto, de una vez por semana, por cinco semanas consecutivas en época seca y de igual manera en época lluviosa. Siendo un total de cinco muestreos por época seca y cinco en época lluviosa.
3. Se estableció un procedimiento integrador donde se planifica los puntos a visitar, se solicita apoyo y acompañamiento a la alcaldía auxiliar y representantes de la comunidad, se toma la muestra y se traslada a laboratorio con un procedimiento técnico establecido y luego se analizan y socializan los resultados.

4. Se determinó que los sistemas de información geográfica son una herramienta de mucha utilidad para reducir los tiempos de trabajo de campo, para el manejo y análisis de datos y para la toma de decisiones relacionadas al manejo de los recursos hídricos en las ciudades.



## RECOMENDACIONES

1. Involucrar a las comunidades en el cuidado de los recursos hídricos.
2. Los puntos de muestreo deben ser revisados periódicamente ya que, por la dinámica de la ciudad, la urbanización, el cambio climático y otros factores el punto antes propuesto puede dejar de ser funcional o pueden crearse accesos a puntos más representativos.
3. Analizar la viabilidad de instalar estaciones de monitoreo de calidad del agua permanentes y en tiempo real para poder obtener datos inmediatos y conocer con más certeza las fuentes de contaminación.
4. Crear programas orientados a la salud y protección del medio ambiente con el fin de mejorar la calidad de vida de la población de la ciudad.
5. Detallar, a nivel local o de microcuenca, las capas de uso de suelo para poder determinar con mayor certeza donde pueden estar las posibles fuentes de contaminación.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ACEITUNO IBÁÑEZ, Álvaro. *Manual de educación ambiental sobre el recurso hídrico en Guatemala*. [en línea]. <<http://www.marn.gob.gt/Multimedios/7419.pdf>>. [Consulta: 2 de julio de 2019].
2. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. [en línea]. <<https://www.ecosistemas.com.gt/wp-content/uploads/2015/07/07-Acuerdo-gubernativo-236-2006-Reglamento-descargas-y-reuso.pdf>>. [Consulta: 11 de julio de 2019].
3. ACUÑA CAMPOS, Esteban. *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013. 113 p.
4. AJCABUL RAXHÓN, Ángel. *Análisis comparativo entre el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) y el índice de calidad del agua (ICA), aplicados al monitoreo de aguas superficiales en el Río la Quebrada, el Frutal*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 76 p.

5. Comisión Guatemalteca de Normas, COGUANOR NTG/ISO 8989-1. *Calidad del agua. Clasificación biológica de los ríos. Parte 1: guía para la interpretación de los datos relativos a la calidad biológica a partir de estudios de macroinvertebrados bénticos*. Guatemala: COGUANOR, 2010. 12 p.
6. CONAGUA. *Normas Oficiales Mexicanas*. [en línea]. <<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-15-13.pdf>>. [Consulta: 2 de julio de 2019].
7. Congreso de la República de Guatemala, Decreto No. 68-89. *Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente*. [en línea]. <<https://observatoriop10.cepal.org/es/instrumentos/ley-proteccion-mejoramiento-medio-ambiente-decreto-68-1986>>. [Consulta: 2 de julio de 2019].
8. \_\_\_\_\_. *Código Penal, Decreto No. 17-73*. [en línea]. <[https://es.slideshare.net/RONALDVASQUEZS\\_ECAIDA/codigo-penal-guatemalteco-decreto-del-congreso-17-73](https://es.slideshare.net/RONALDVASQUEZS_ECAIDA/codigo-penal-guatemalteco-decreto-del-congreso-17-73)>. [Consulta: 11 de julio de 2019].
9. \_\_\_\_\_. *Código de Salud, Decreto No. 90-7*. [en línea]. <[http://www.cicad.oas.org/fortalecimiento\\_institucional/legislations/PDF/GT/decreto\\_congresional\\_90-97.pdf](http://www.cicad.oas.org/fortalecimiento_institucional/legislations/PDF/GT/decreto_congresional_90-97.pdf)>. [Consulta: 11 de julio de 2019].

10. \_\_\_\_\_. *Código Municipal, Decreto No. 12-2002*. [en línea]. <[https://conred.gob.gt/site/documentos/base\\_legal/codigo\\_municipal\\_12-2002.pdf](https://conred.gob.gt/site/documentos/base_legal/codigo_municipal_12-2002.pdf)>. [Consulta: 11 de julio de 2019].
11. \_\_\_\_\_. *Asamblea Nacional Constituyente, 1986*. [en línea]. <<https://www.contraloria.gob.gt/wp-content/uploads/2018/02/1-CONSTITUCION-POLITICA-1985.pdf>>. [Consulta: 2 de julio de 2019].
12. FERNÁNDEZ CIRELLI, Alicia. y ABRAHAM, Elena. *Impacto de la contaminación del río Las Vacas sobre la calidad del agua del río Motagua, Guatemala*. [en línea]. <[https://www.academia.edu/8697413/Impacto\\_de\\_la\\_contaminaci%C3%B3n\\_del\\_r%C3%ADo\\_Las\\_Vacas\\_sobre\\_la\\_calidad\\_del\\_agua\\_del\\_r%C3%ADo\\_Motagua\\_Guatemala.\\_pg.\\_111-120](https://www.academia.edu/8697413/Impacto_de_la_contaminaci%C3%B3n_del_r%C3%ADo_Las_Vacas_sobre_la_calidad_del_agua_del_r%C3%ADo_Motagua_Guatemala._pg._111-120)>. [Consulta: 2 de julio de 2019].
13. GIL OVALLE, Ingrid. *Monitoreo y cuantificación de coliformes totales, coliformes fecales y escherichia coli, en siete microcuencas del lago de Amatitlán: Chanquín, el Frutal, Guadrón, Pinula, San Lucas, Zacatal y Zanjón la Palin*. Trabajo de graduación de Biología. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2001. 62 p.
14. LEM ORELLANA, Mc Creay Aylleng. *Análisis de la legislación guatemalteca en materia de protección del medio ambiente*. Trabajo de graduación de Ciencias Jurídicas y Sociales. Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005. 166 p.

15. LENTI, Emilio. *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL, 2010. 30 p.
16. LIERE QUEVEDO, Ivonne. *Determinación de la correlación de dos índices fisicoquímicos y un índice biológico de calidad del agua en el Río Teocinte, zona 25, ciudad de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017. 137 p.
17. LÓPEZ SALAZAR, Odalis. *Determinación de la calidad ambiental del agua, mediante índices bióticos y fisicoquímicos en la microcuenca del Río Agua Tibia, zona 24*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 140 p.
18. MÉNDEZ SPIEGELER, Silvia. *Determinación de la influencia de las características fisicoquímicas medidas a través del índice simplificado de calidad del agua (ISQA), sobre la biota medida a través del índice biótico BMWP en la microcuenca del Río Contreras del municipio de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. 163 p.
19. MINERA CASTRO, Dorian. *Cuantificación fisicoquímica de la calidad del agua del Río Molino, afluente del Lago de Amatitlán, Mixco, Guatemala*. Trabajo de graduación de Acuicultura. Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA), Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 62 p.

20. Ministerio de Agricultura. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos. *Protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos*. Perú: DGCRH, 2016. 34 p.
21. Ministerios de Ambiente y Energía y Salud, Decreto 33903-2007. *Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales*. Costa Rica: Diario Oficial La Gaceta N. 178, MINAE-S, 2007. 16 p.
22. NAVICHOQUE PÉREZ, Frida. *Evaluación cualitativa de la influencia estacional en la calidad del agua, por medio de la determinación del ISQA, del Río Bijagüe de la ciudad de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018. 122 p.
23. Norma Oficial Mexicana NOM 014 SSA1 1993. *Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados*. [en línea]. <<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/014ssa13.html>>. [Consulta: 2 de julio de 2019].
24. \_\_\_\_\_. NTC ISO 5667-3. Muestreo. *Parte 3 Directrices para la preservación y manejo de las muestras*. [en línea]. <<http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000140-e3b67e5121/NTC-ISO%205667-03-2004.%20Directrices%20para%20la%20preservacion%20y%20manejo%20de%20muestras.pdf>>. [Consulta: 2 de julio de 2019].

25. Norma Técnica Colombiana NTC ISO 5667-1. Muestreo. *Directrices para el diseño de programas de muestreo*. [en línea]. <<http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000145-d5b44d6af9/NTC-ISO%205667-01-1995.%20Directrices%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20planes%20de%20muestreo.pdf>>. [Consulta: 2 de julio de 2019].
26. Oficina del Asesor en Cumplimiento/ Ombudsman. *Monitoreo participativo del agua: guía para prevenir y manejar el conflicto*. Washington, USA: CAO, 2008. 120 p.
27. Organización de Naciones Unidas - Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. ONU-DAES. *Decenio internacional para la acción 'El agua fuente de vida' 2005-2015*. [en línea]. <<https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>>. [Consulta: 2 de julio de 2019].
28. Organización Mundial de la Salud. *Agua*. [en línea]. <<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>>. [Consulta: 16 de julio de 2019].
29. PALANIAPPAN, Meena., GLEICK, Peter., ALLEN, Luci., COHEN, Michael., CHRISTIAN-SMITH, Juliet. y SMITH, Courtney. *Clearing the waters, a focus on water quality solutions*. Nairobi, Kenya: UNEP, 2010. 91 p.



30. PÉREZ, Carlos. *Estructura geológica del Valle de la ciudad de Guatemala interpretada mediante un modelo de cuenca por distensión*. Guatemala: Revista geológica de América Central, 2009. 8 p.
31. PINEDA LAM, Ricardo. *Estandarización de la metodología para el cálculo del índice de calidad del agua en el monitoreo ambiental de la ciudad de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 80 p.
32. PIRRON CASILLAS, Luz. *Guatemala, Guatemala, Análisis de una ciudad capital de la región Centroamericana-Caribe*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2018. 21 p.
33. PRIETO BOLIVAR, Carlos. *El agua: sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación*. Bogotá, Colombia: Ecoe ediciones, 2004. 380 p.
34. Proyecto de Norma Mexicana PROY-NMX-AA-121/1-SCFI-2008. *Parte 1. Análisis de agua - aguas naturales epicontinentales, costeras y marinas – muestreo - (todas las partes cancelan al PROY NMX-AA-121-SCFI-2006)*. [en línea]. <<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/AA/proy0909/proy-nmx-aa-121-1-scfi08.pdf>>. [Consulta: 2 de julio de 2019].
35. QuímicaViva. *Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas*. [en línea]. <<https://www.redalyc.org/pdf/863/86311258005.pdf>>. [Consulta: 2 de julio de 2019].

36. ROLDAN PÉREZ, Gabriel. *Fundamentos de limnología neotropical*. Colombia: Universal de Antioquia, 2006. 440 p.
37. SAMBONI, Natalia., REYES, Aldemar. y CARVAJAL, Yesid. *Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta*. Colombia: Universidad del Valle, 2011. 13 p.
38. SANCHEZ HERRERA, Marjorie. *El índice biológico BMWP (biological monitoring working party score), modificado y adaptado al cauce principal del río Pamplonita Norte de Santander*. Colombia: Universidad Francisco de Paul Santander, 2005. 15 p.
39. SARAIVIA SOLARES, Pablo. *Determinación de los índices de calidad del agua (ICA-NSF E ISCA) para consumo humano de los ríos Teocinte y Acatán, que abastecen la planta de tratamiento de agua Santa Luisa zona 16, Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 82 p.
40. SERMEÑO CHICAS, José Miguel. *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Odonata en El Salvador*. El Salvador: Universitaria UES, 2010. 38 p.
41. SIERRA RAMÍREZ, Carlos. *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. Bogotá, Colombia: Universidad de Medellín, 2011. 457 p.

42. UNEP. *Clearing the waters: a focus on water quality solutions*. [en línea]. <<http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/7906>>. [Consulta: 2 de febrero de 2020].
43. \_\_\_\_\_. *Water quality for ecosystems and human health*. [en línea]. <<http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/12217>>. [Consulta: 2 de julio de 2019].
44. UNESCO. *Informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos*. [en línea]. <<http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/>>. [Consulta: 2 de febrero de 2020].
45. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. *Guía de monitoreo participativo de la calidad del agua*. Ecuador: UICN, 2018. 73 p.



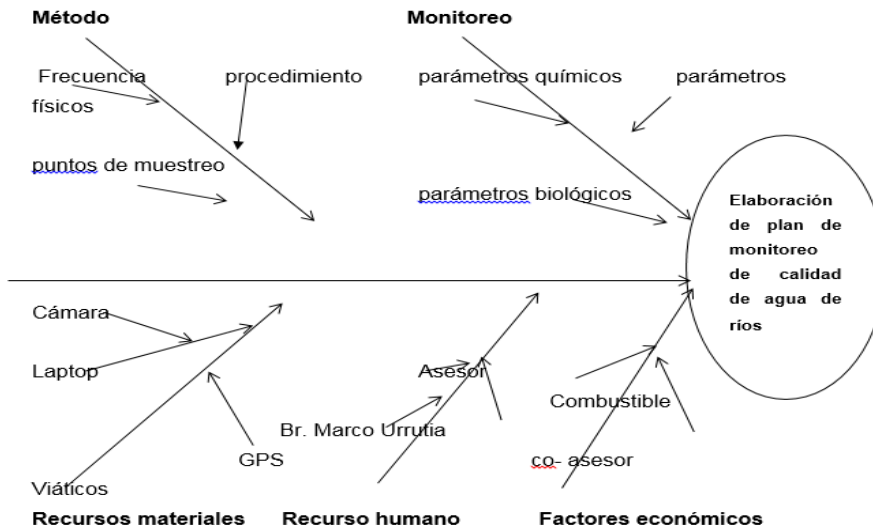
## APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**

Carrera	Campos de conocimiento	Área	Curso	Tema específico	Temática a resolver	
Ingeniería Ambiental	Ingeniería y Tecnología	Área de aguas	Hydrology	Cuencas hidrográficas	Metodología de monitoreo de calidad de aguas superficiales	
			Manejo de cuencas	Caracterización de cuencas		
			Calidad del agua	Índices de calidad del agua		
		Área de administración	Legislación ambiental 1 y 2	Leyes y reglamentos de medio ambiente en Guatemala	Elaboración y preparación de proyectos	Determinación de problema. Elaboración de plan con base a legislación y criterios técnicos.
			Preparación y evaluación de proyectos			
		Área sanitaria	Ingeniería sanitaria 2	Tratamiento de aguas residuales	Criterios para seleccionar puntos de muestreo.	
		Área de topografía	Topografía 3	Introducción a sistemas de información geográfica	Uso de SIG	Georreferenciación y determinación de puntos de muestreo. Selección de ríos en cuencas. Elaboración de mapas.
			Sistemas de información geográfica			
		Área de química industrial	Química ambiental	Ciclos del agua, nitrógeno, fosforo, etc.	Tratamiento de aguas residuales	Determinación de frecuencia de monitoreo según época secas y lluviosa. Criterios para seleccionar puntos de muestreo.
			Microbiología	Grupos de bacterias		
			Control de contaminantes industriales			

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2013.

## Apéndice 3. Fotografías de los puntos de muestreo de los ríos



Río Quebrada El Toro parte alta.



Continuación del apéndice 3.



Río Aceituno parte baja.



Río Agua Tibia parte Alta.



Continuación del apéndice 3.



Río Bijagüe parte alta.



Río Bijagüe parte media.



Continuación del apéndice 3.



Río Bijagüe parte baja.



Río Canalitos parte alta.



Continuación del apéndice 3.



Río Canalitos parte media.



Río Canalitos parte baja.



Continuación del apéndice 3.



Río Contreras parte media.



Río Contreras parte baja.



Continuación del apéndice 3.



Río Guadrón parte alta.



Río La Barranca parte media.



Continuación del apéndice 3.



Río Las Vacas parte alta.



Río Las Vacas parte media.



Continuación del apéndice 3.



Río Los Ocotes parte alta.



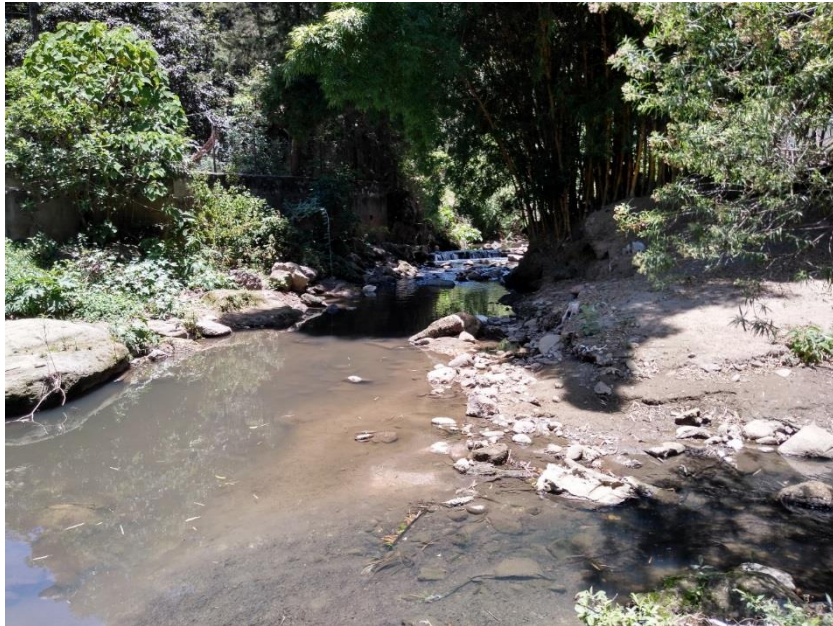
Río Los Ocotes parte baja.



Continuación del apéndice 3.



Río Los Vados parte media.



Río Méndez parte baja.

Continuación del apéndice 3.



Río Molino parte alta.



Río Molino parte baja.



Continuación del apéndice 3.



Río Monjitas parte alta.



Río Naranjo parte alta.



Continuación del apéndice 3.



Río Negro parte media.



Río Negro parte baja.



Continuación del apéndice 3.



Río Pinula parte alta.



Río Pinula parte baja.



Continuación del apéndice 3.



Riachuelo Santa Rosita parte alta.



Riachuelo Santa Rosita parte media.



Continuación del apéndice 3.



Riachuelo Santa Rosita parte baja.



Río Teocinte parte alta.

Continuación del apéndice 3.



Río Teocinte parte media.

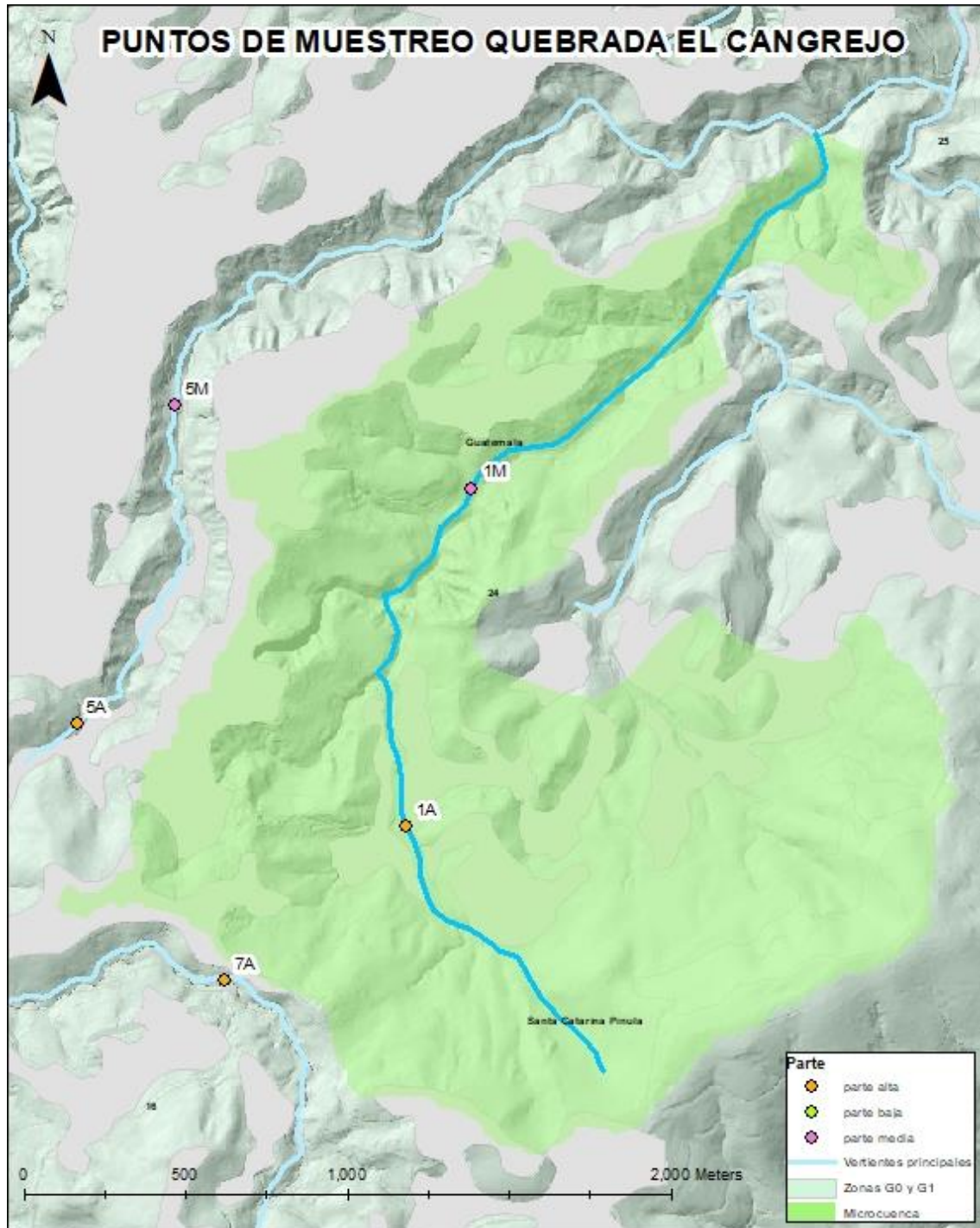


Río Teocinte parte baja.

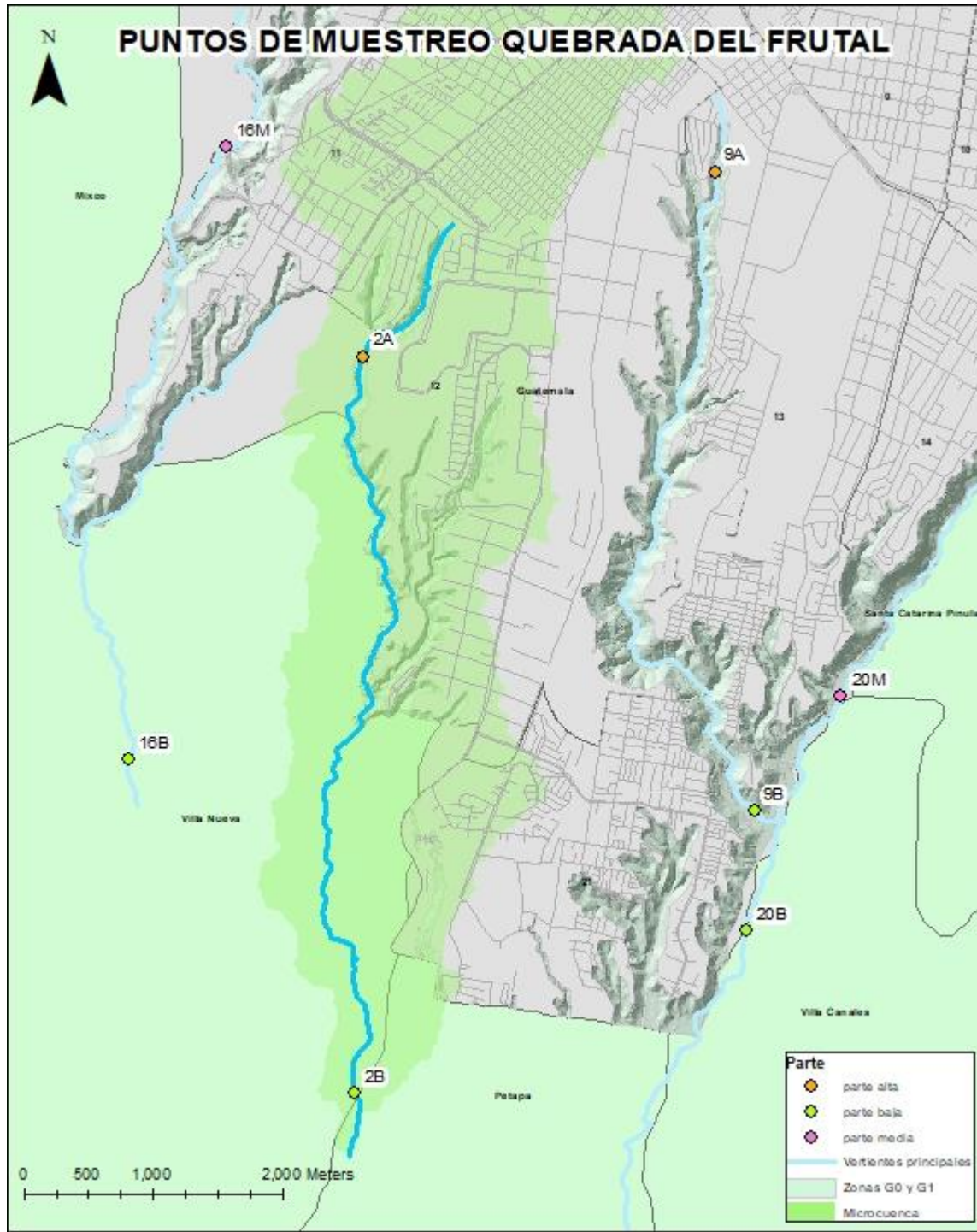
Fuente: elaboración propia, ríos de la ciudad de Guatemala.



Apéndice 4. Mapas de ubicación de los puntos de muestreo

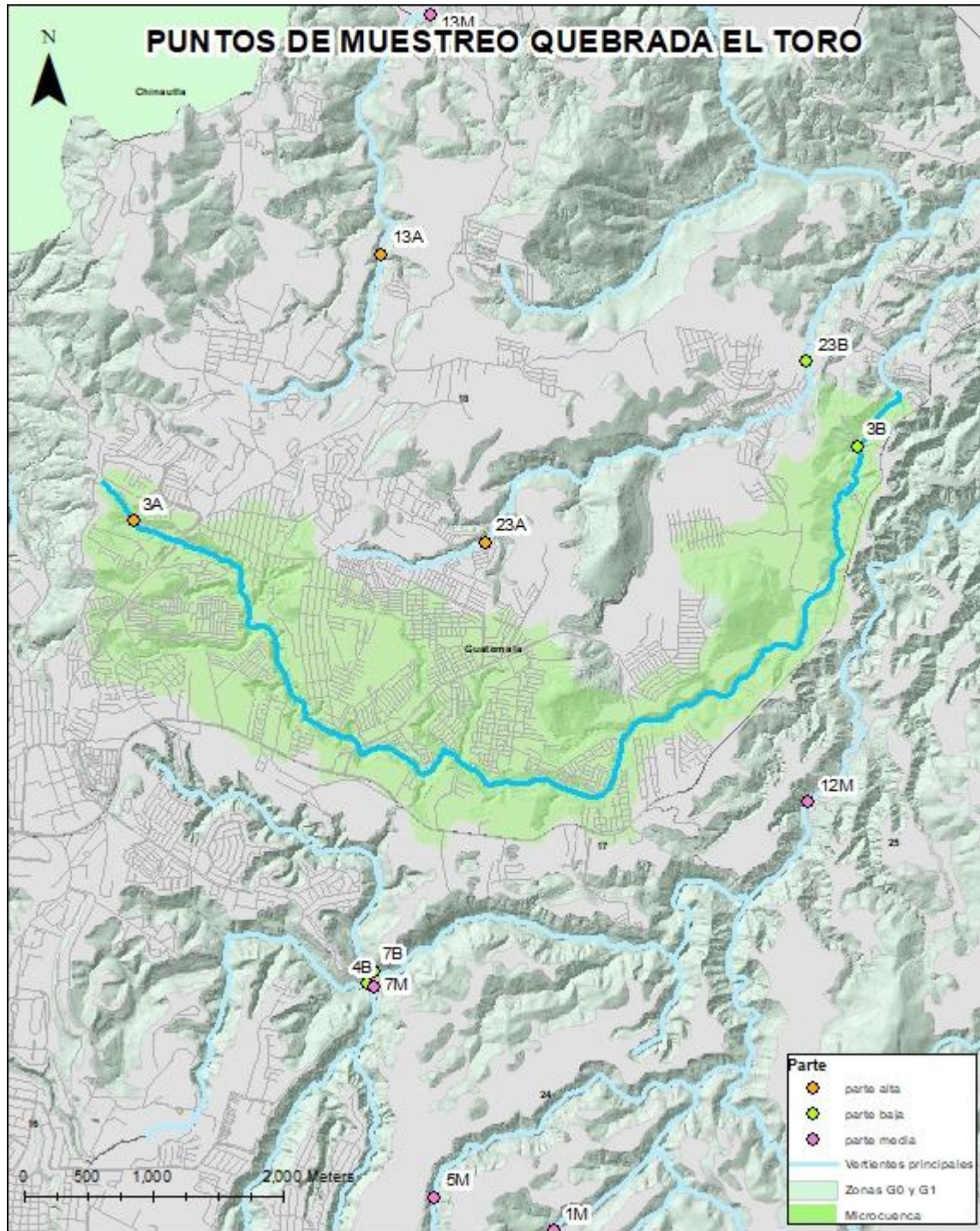


Continuación del apéndice 4.

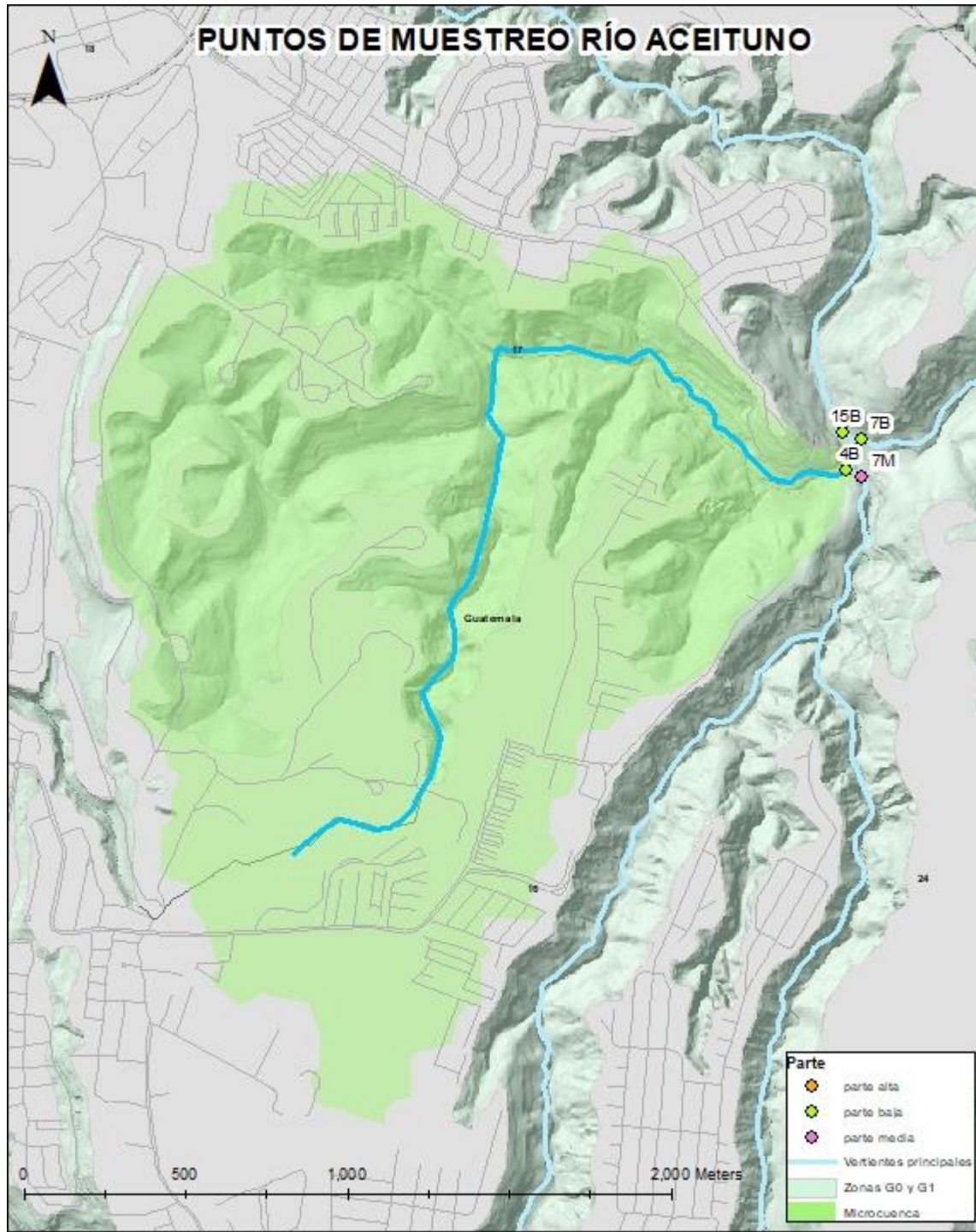




Continuación del apéndice 4.

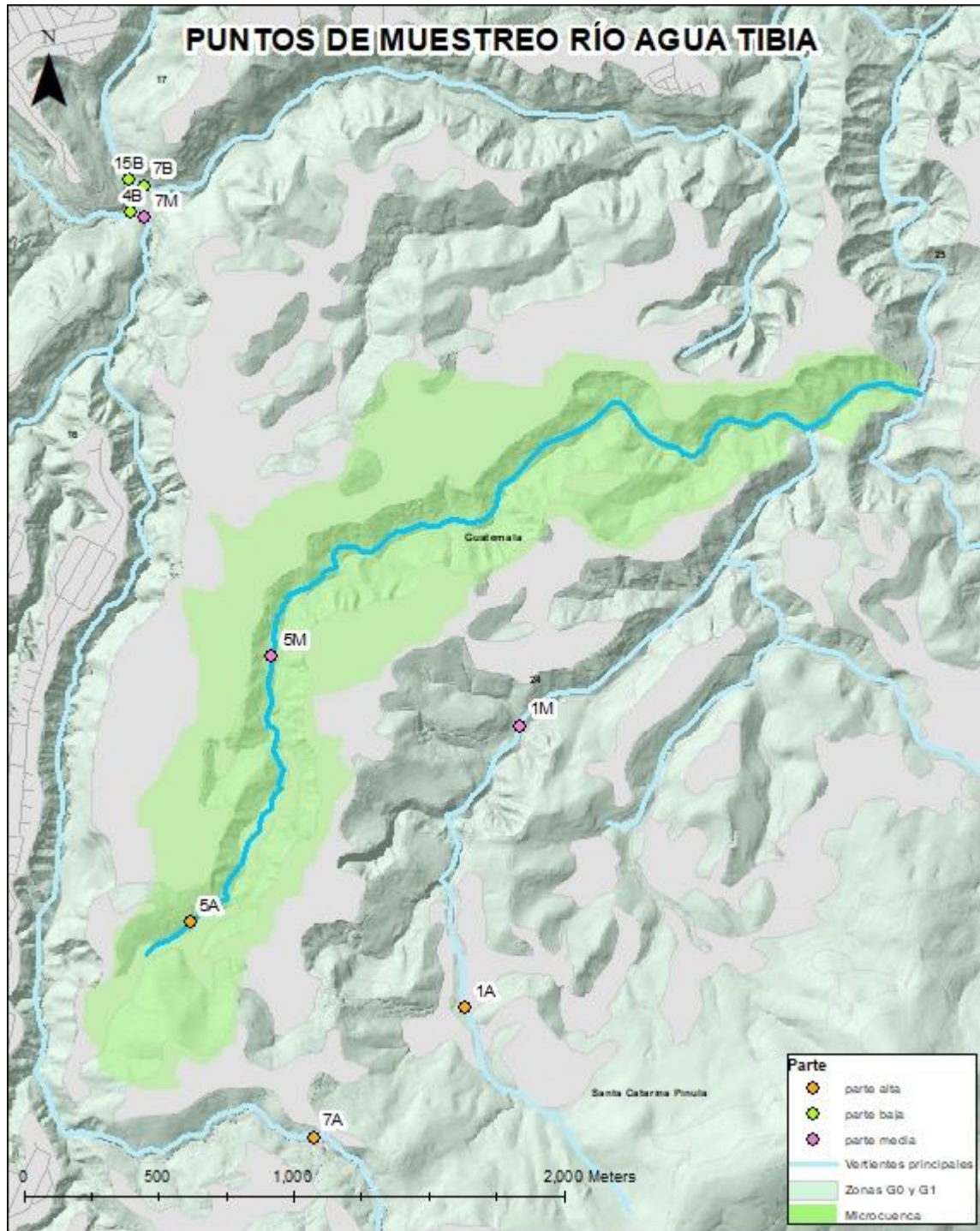


Continuación del apéndice 4.

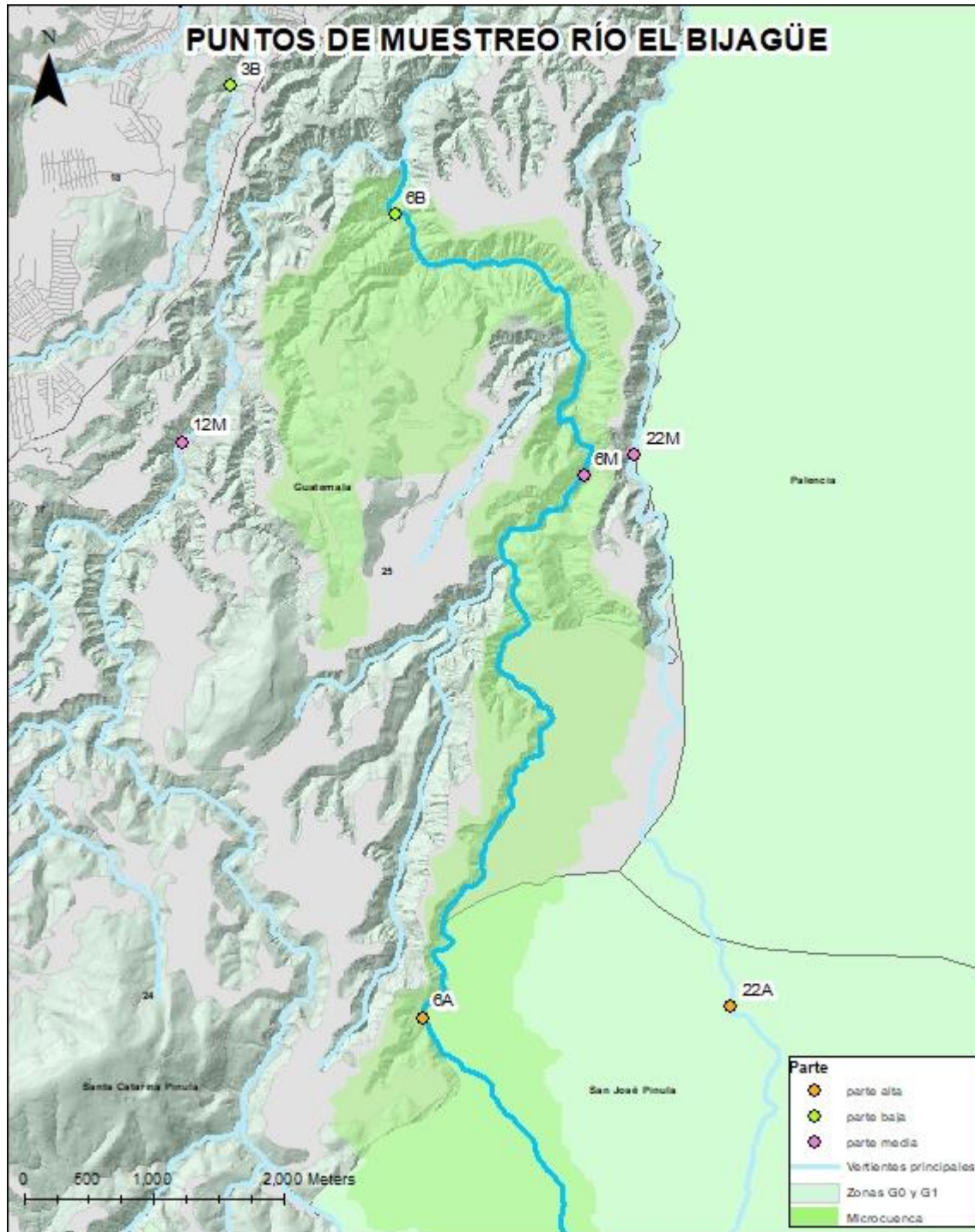




Continuación del apéndice 4.

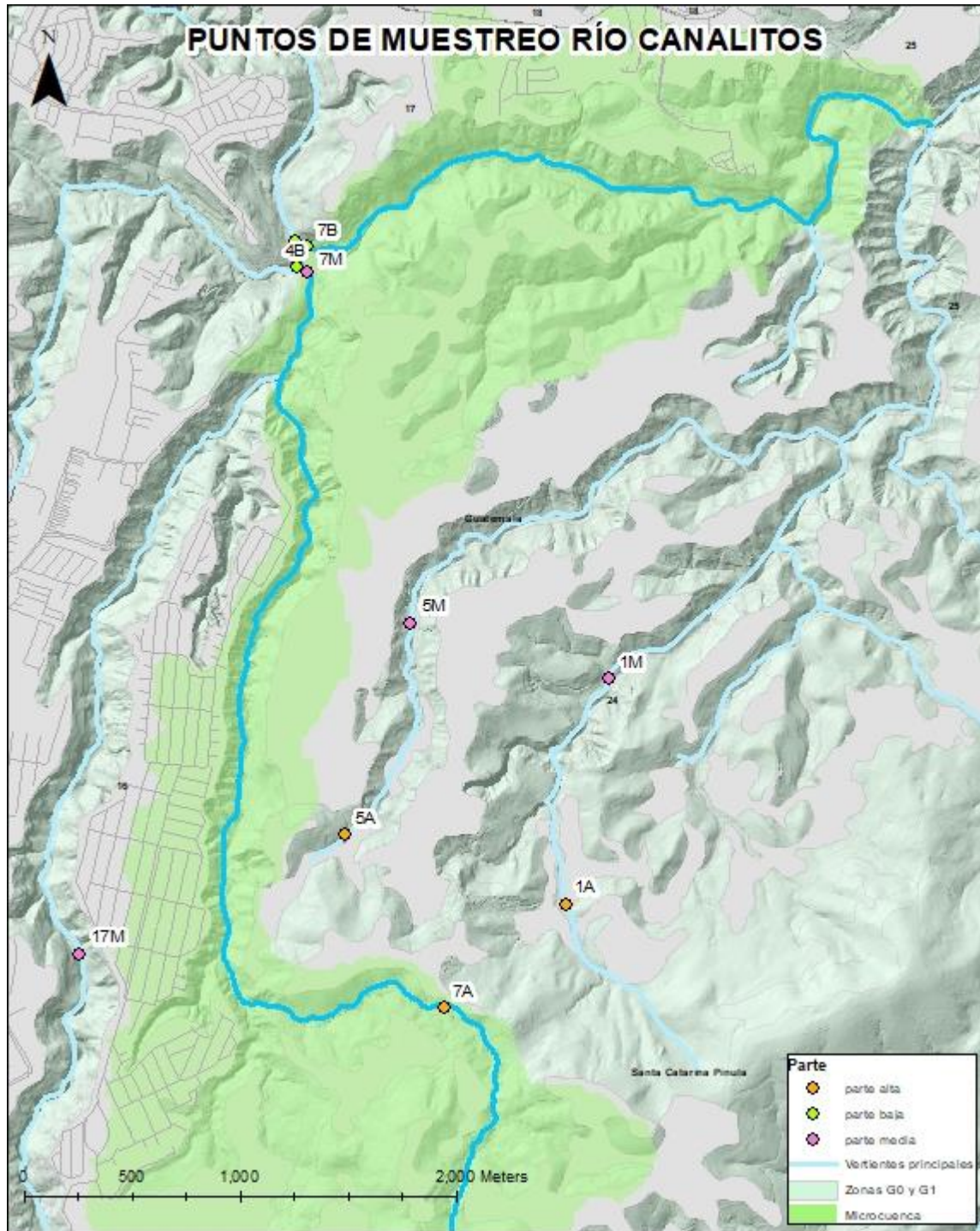


Continuación del apéndice 4.

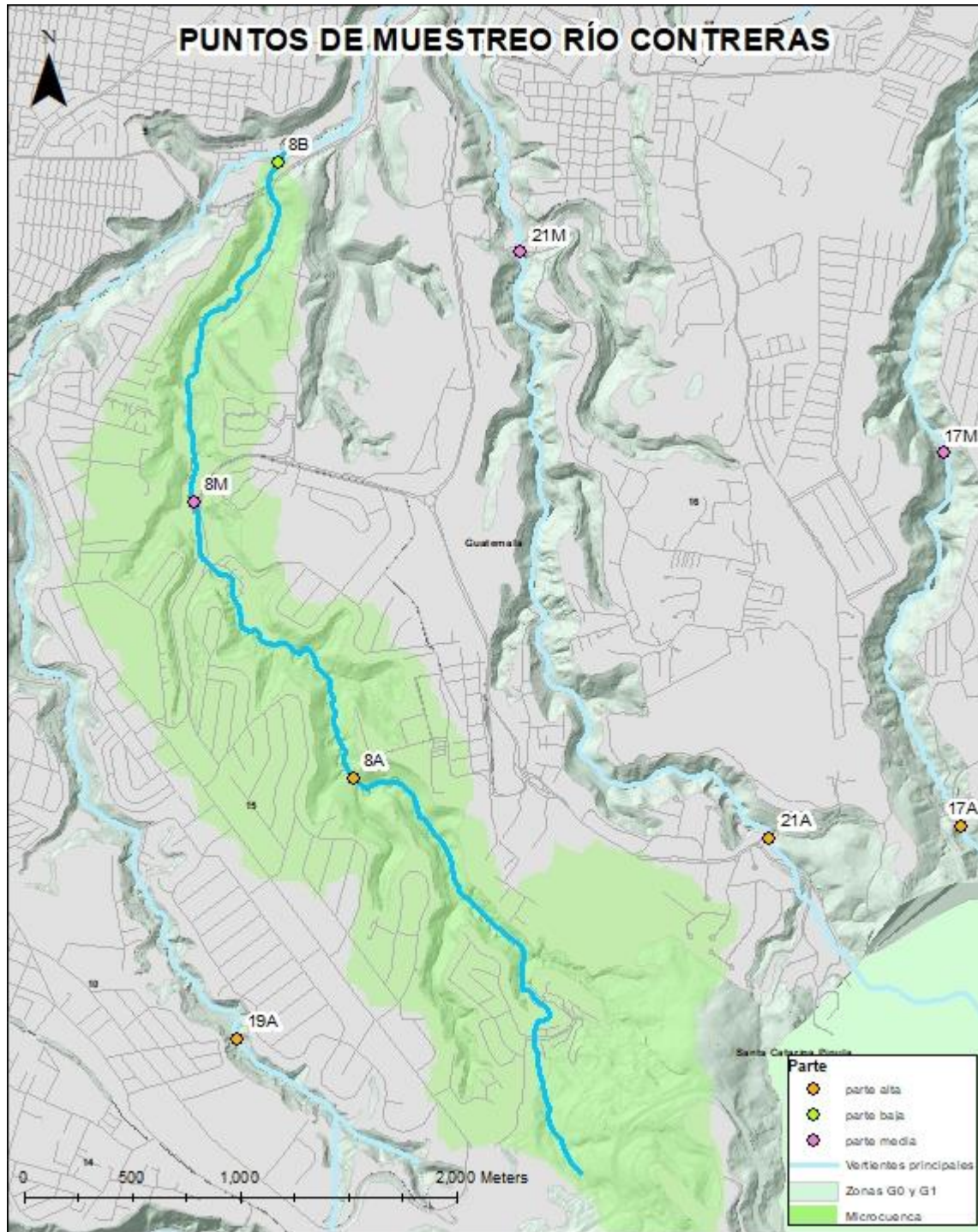




Continuación del apéndice 4.

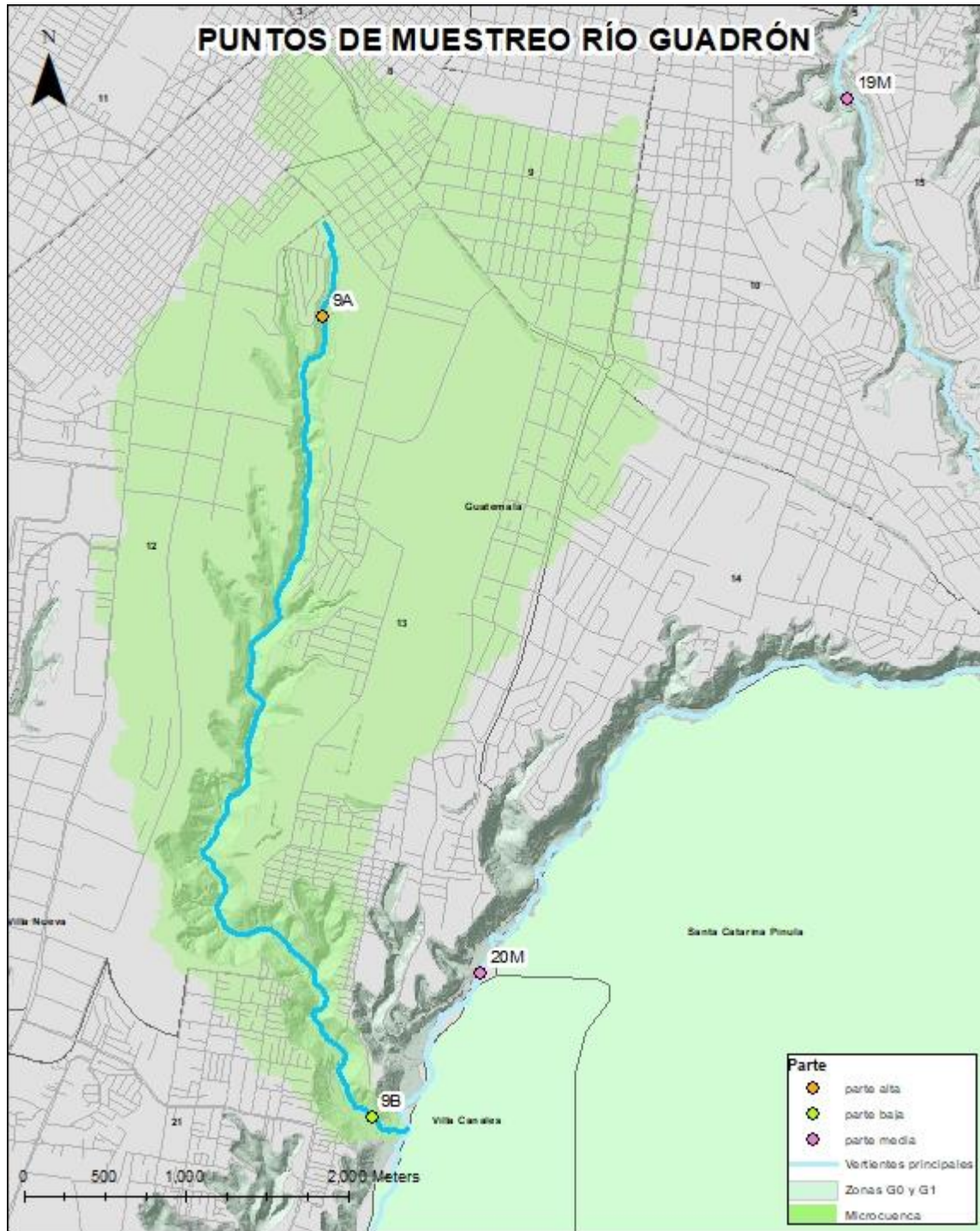


Continuación del apéndice 4.

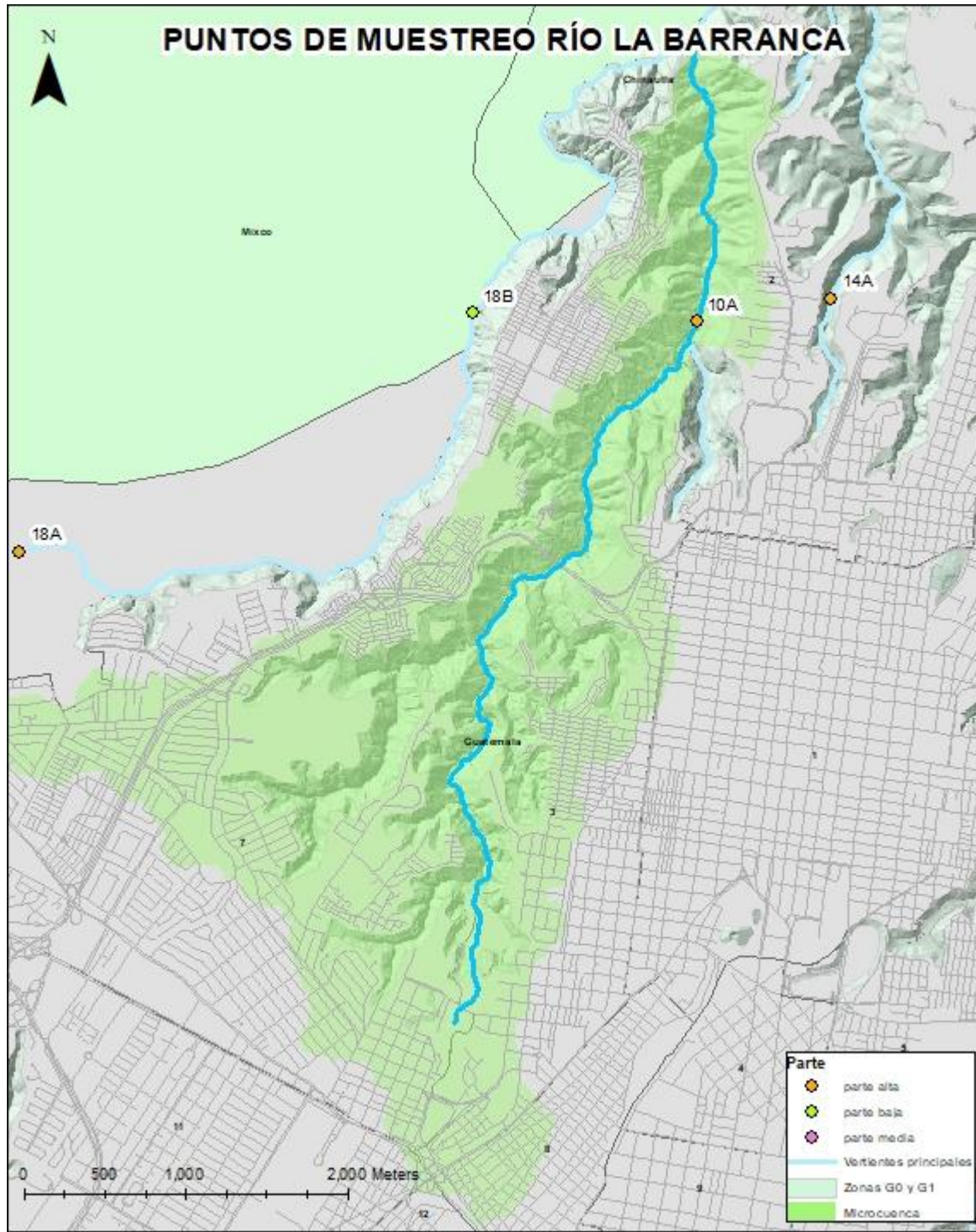




Continuación del apéndice 4.

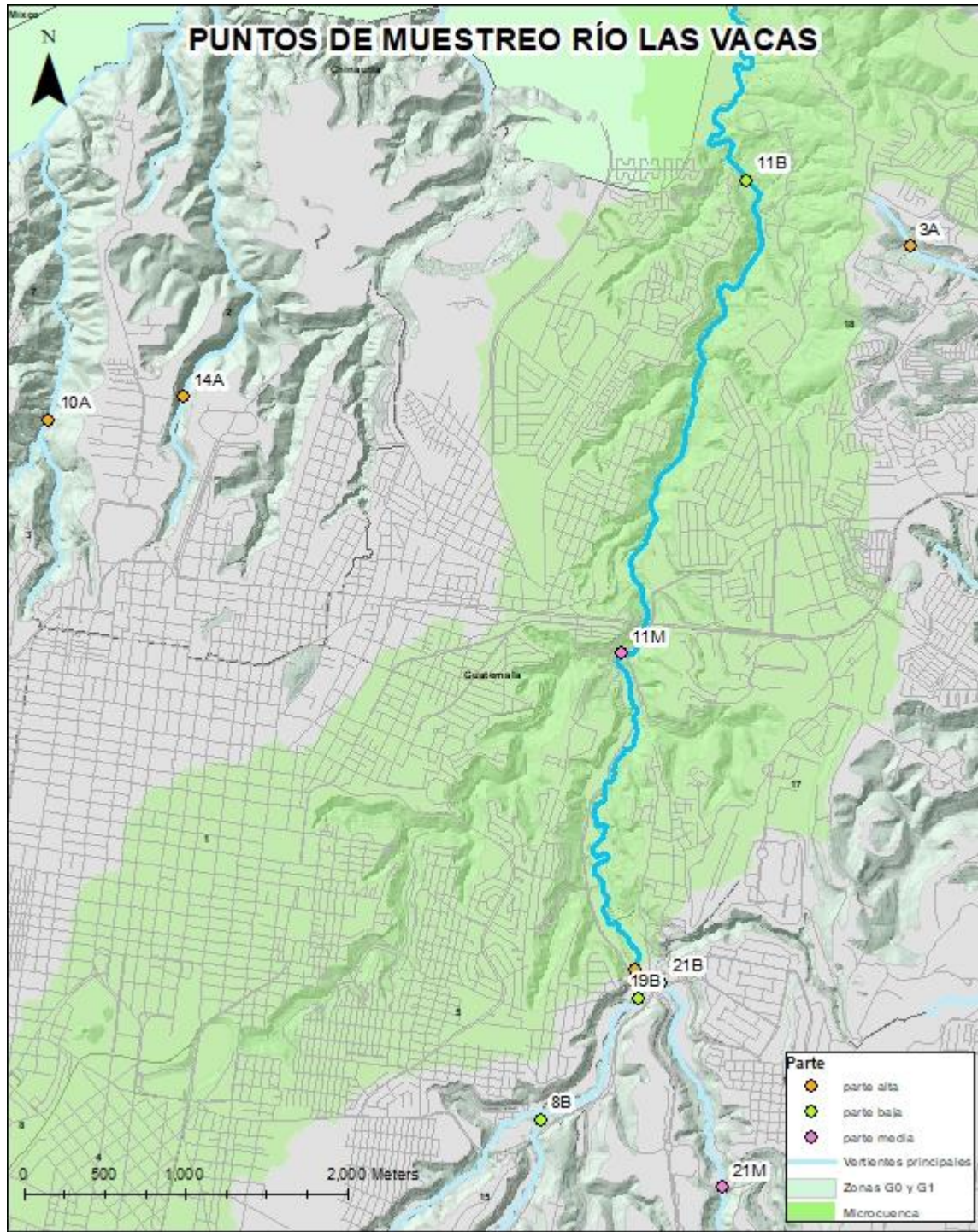


Continuación del apéndice 4.



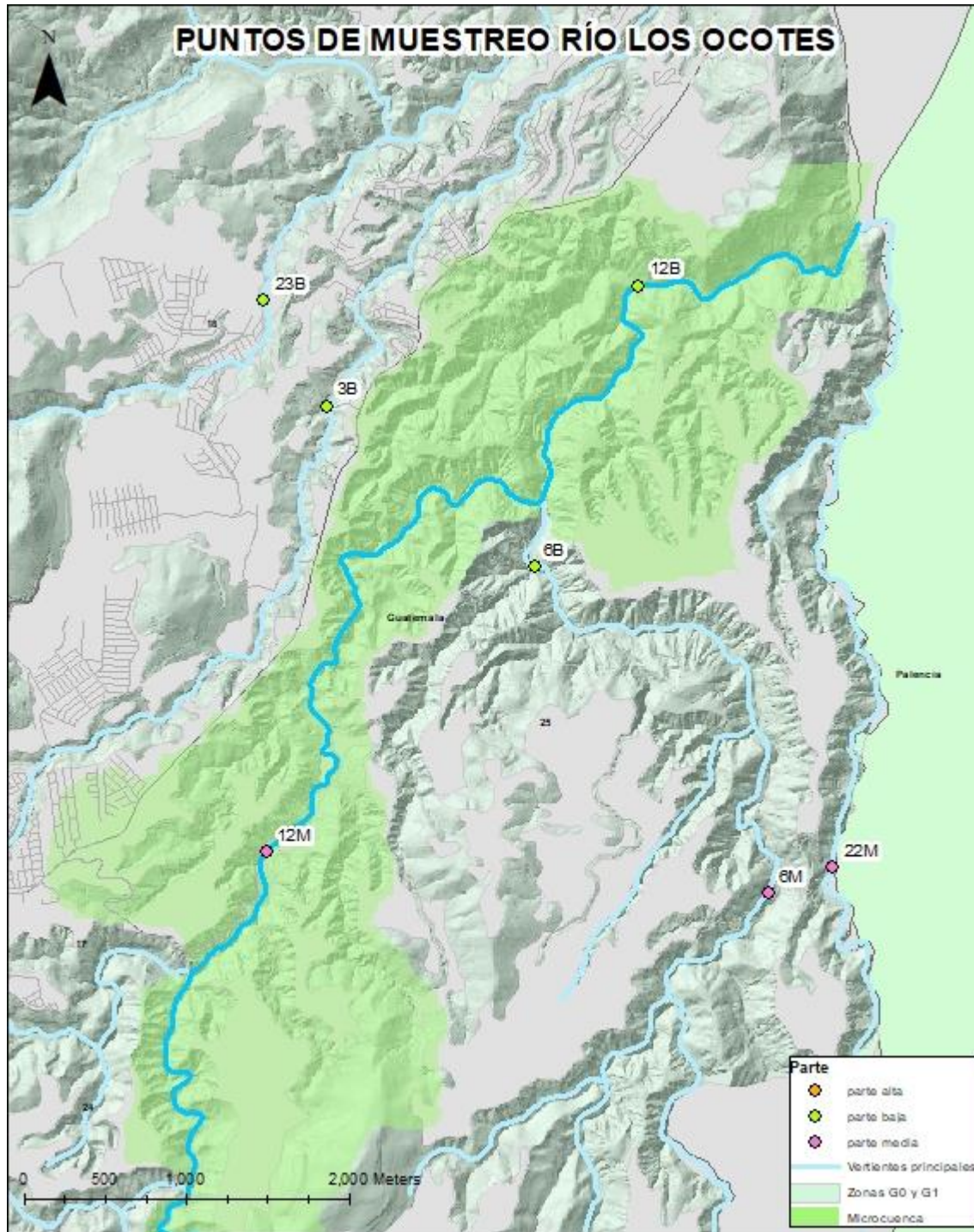


Continuación del apéndice 4.

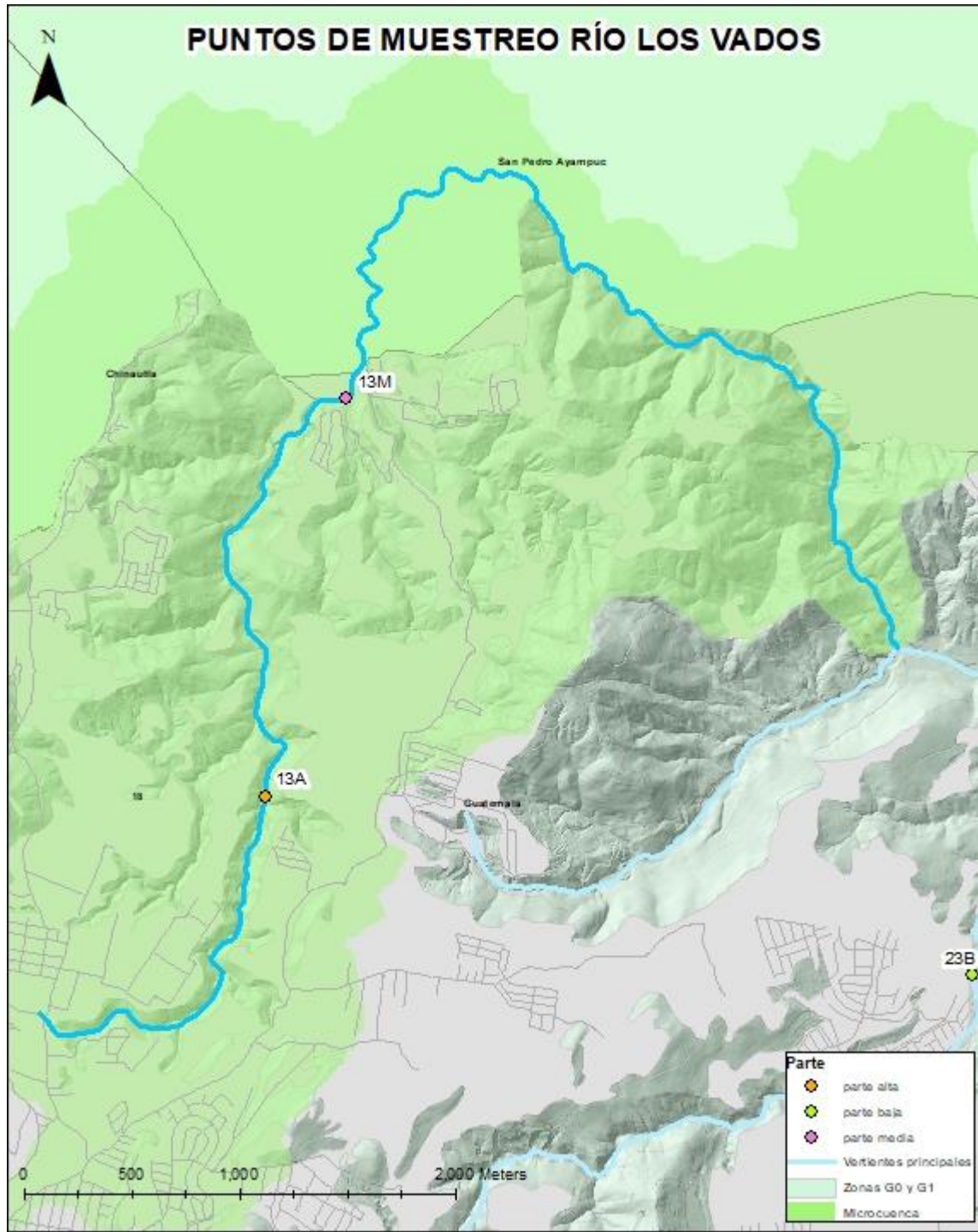




Continuación del apéndice 4.

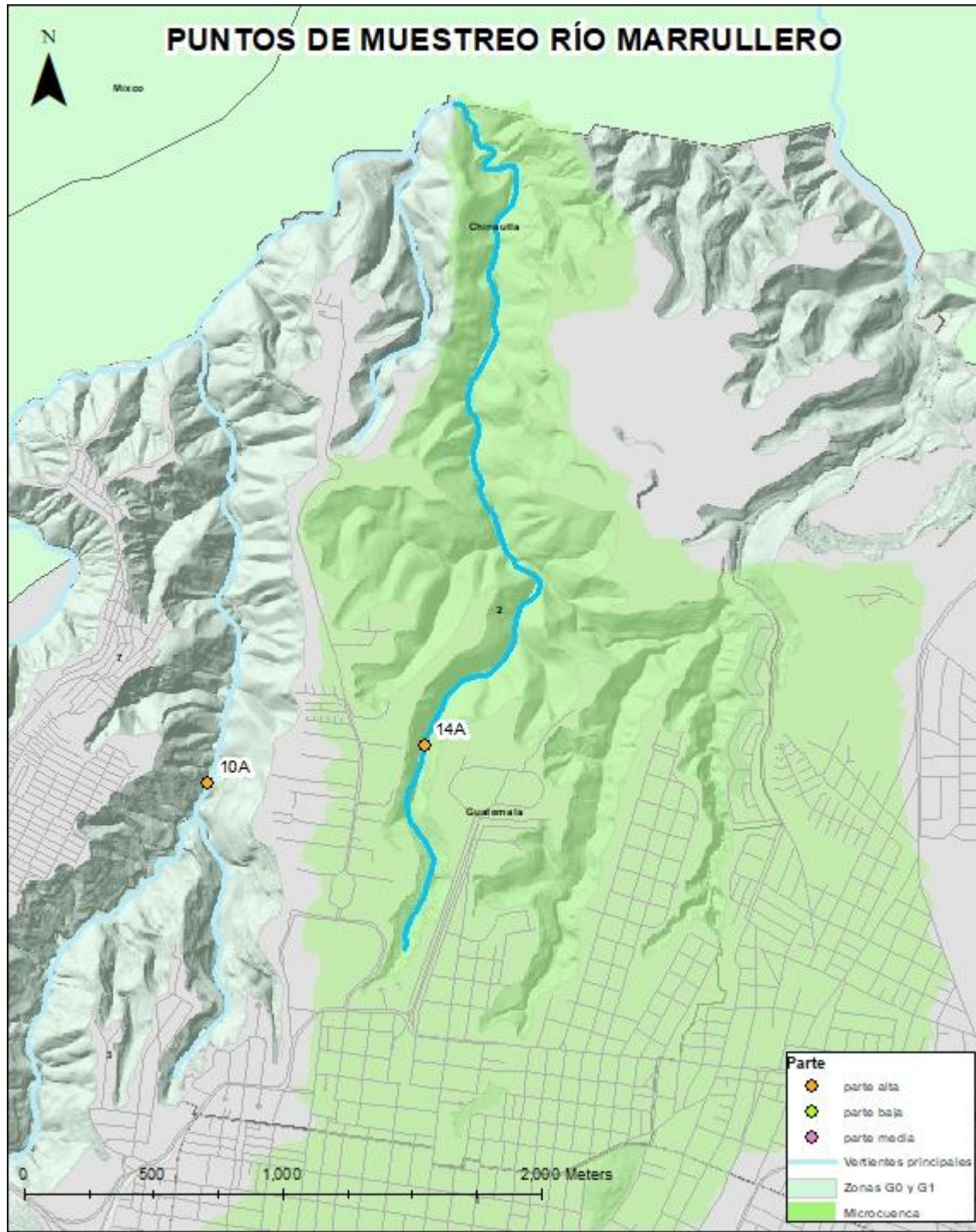


Continuación del apéndice 4.

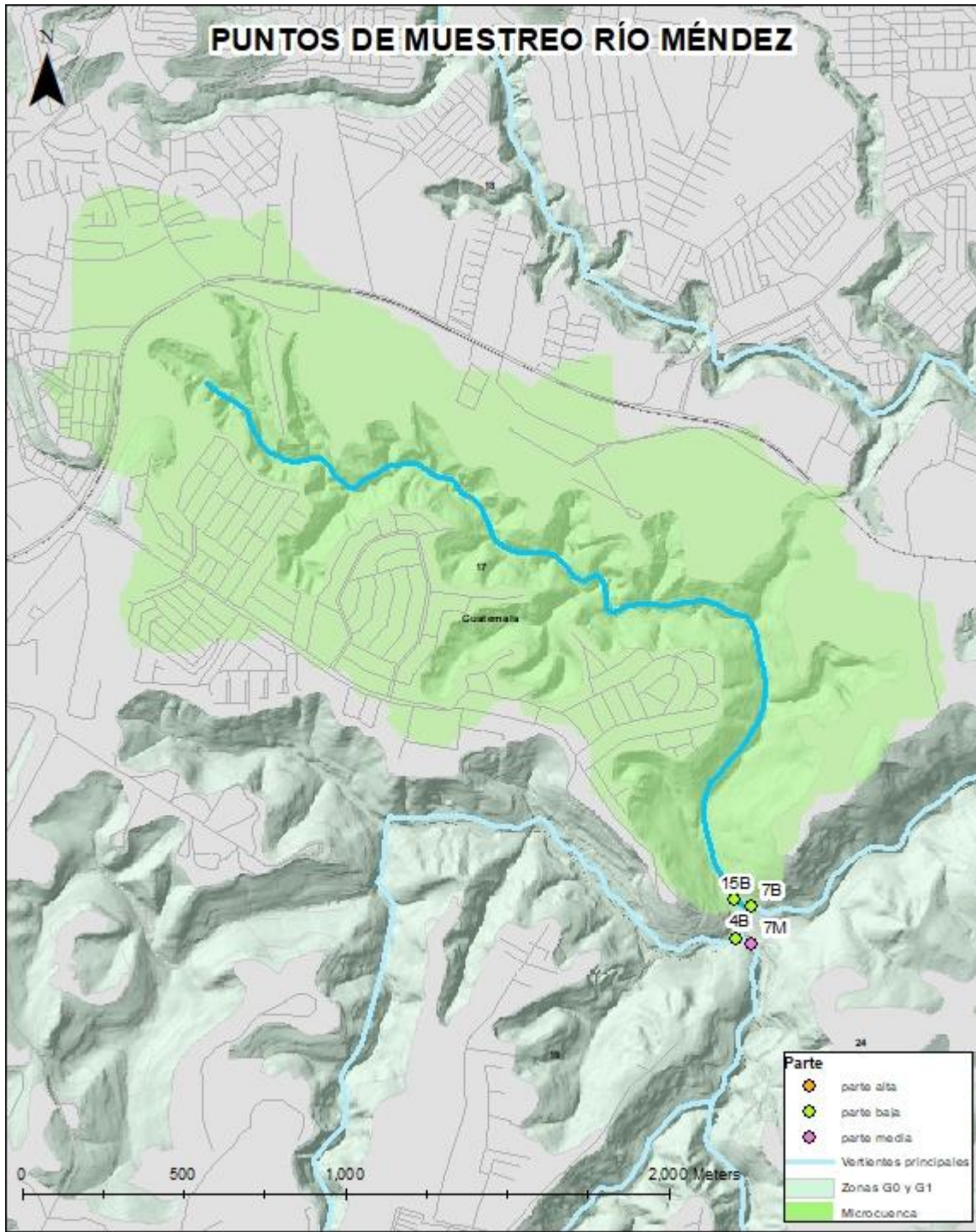




Continuación del apéndice 4.



Continuación del apéndice 4.

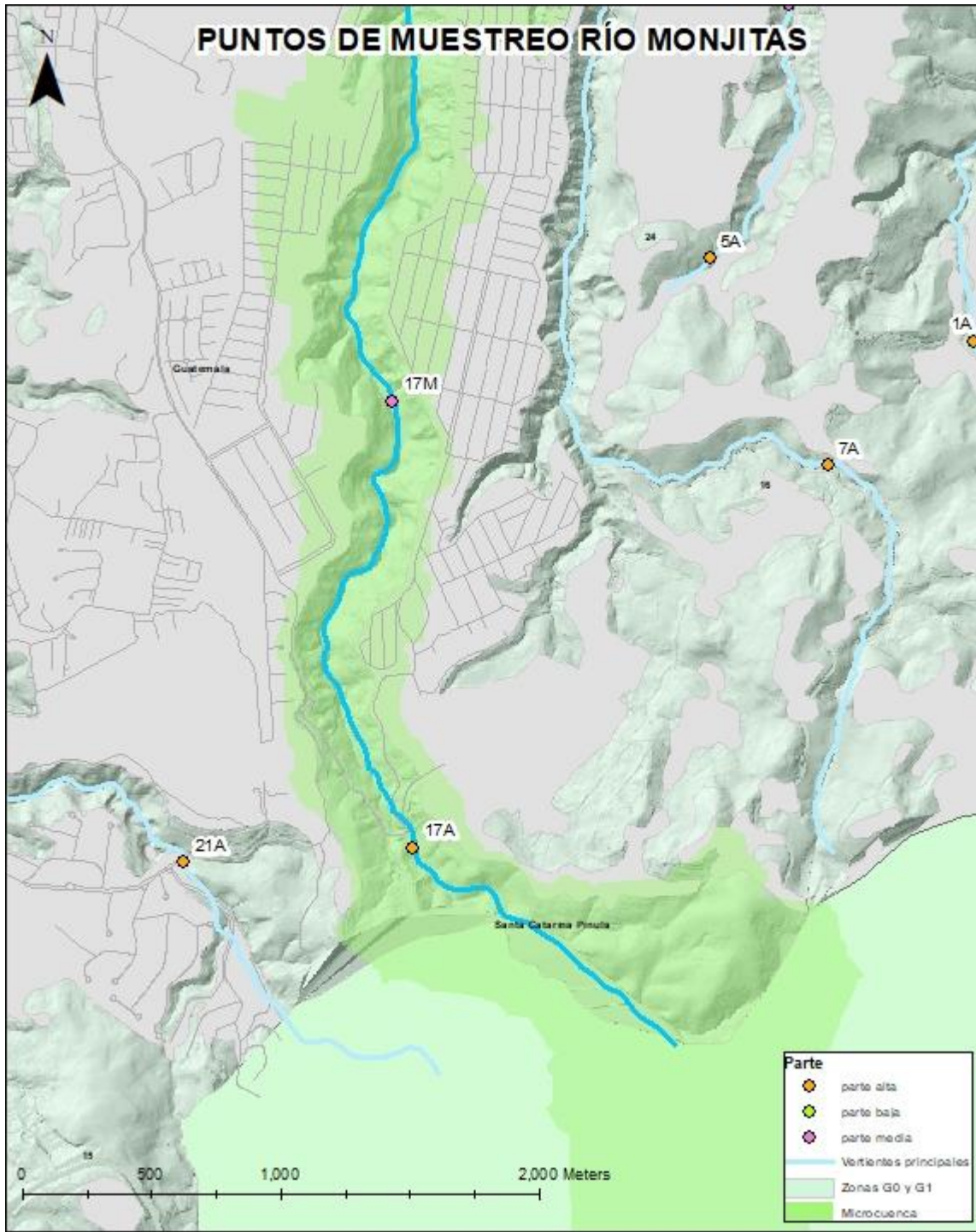




Continuación del apéndice 4.



Continuación del apéndice 4.

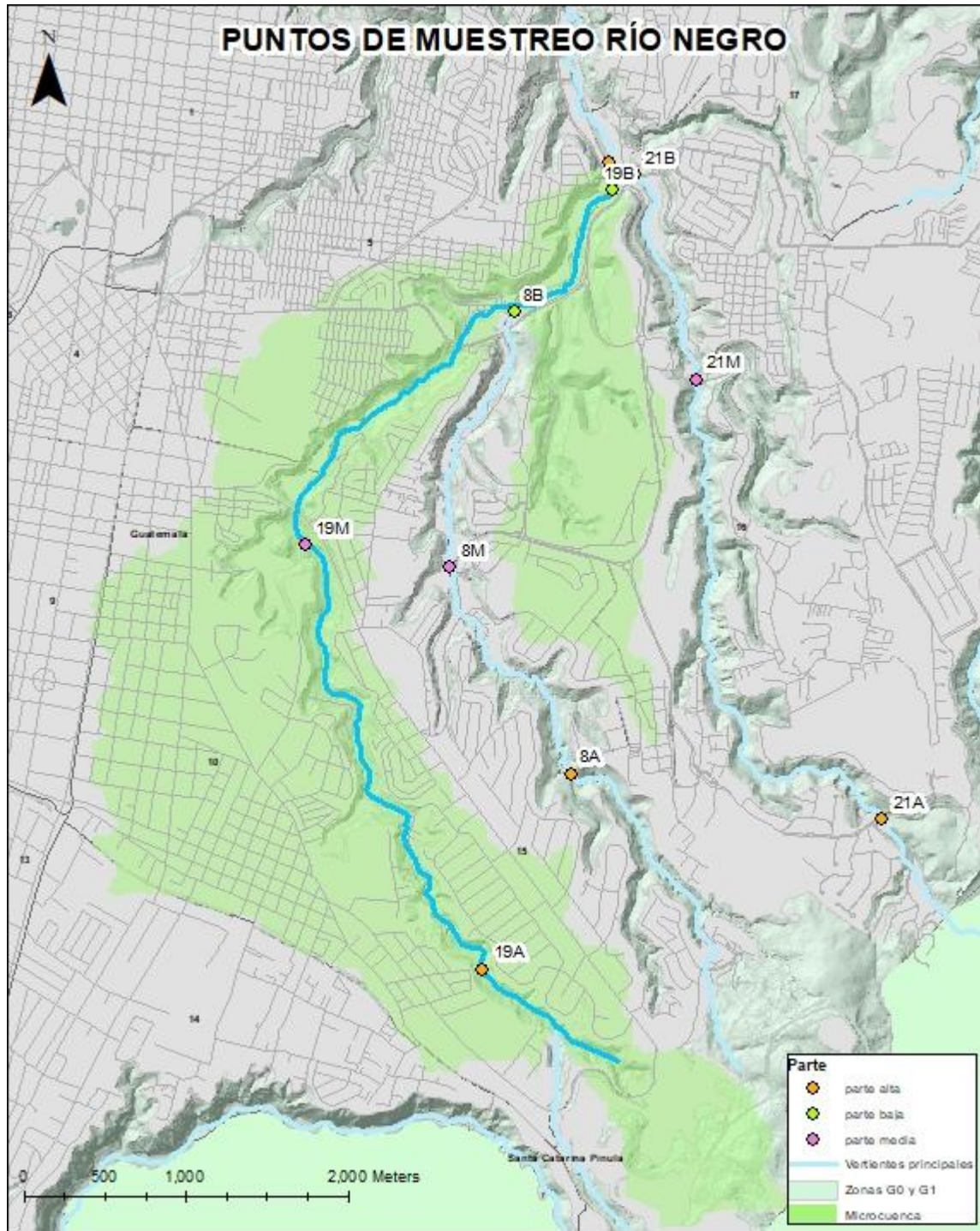


Continuación del apéndice 4.

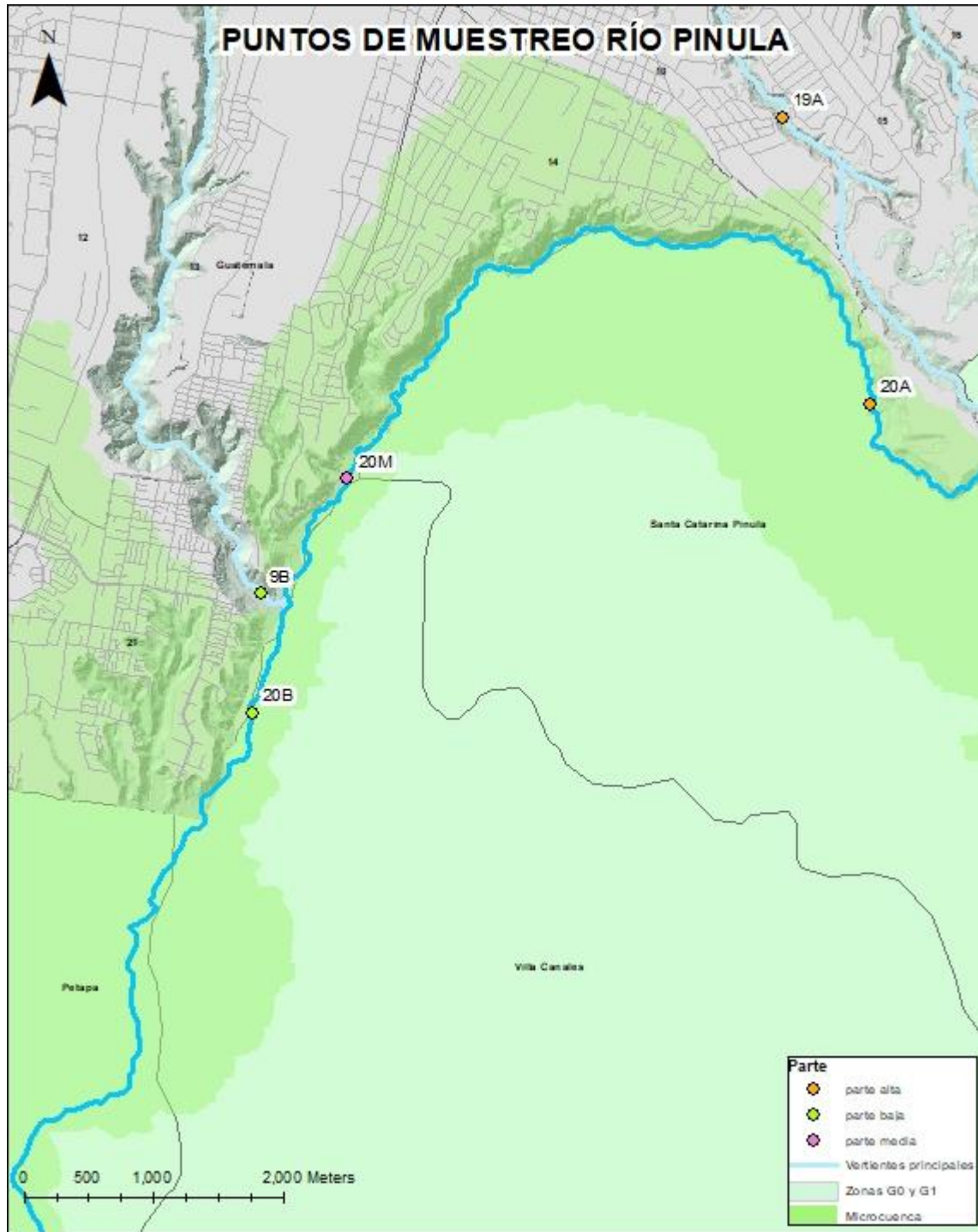




Continuación del apéndice 4.

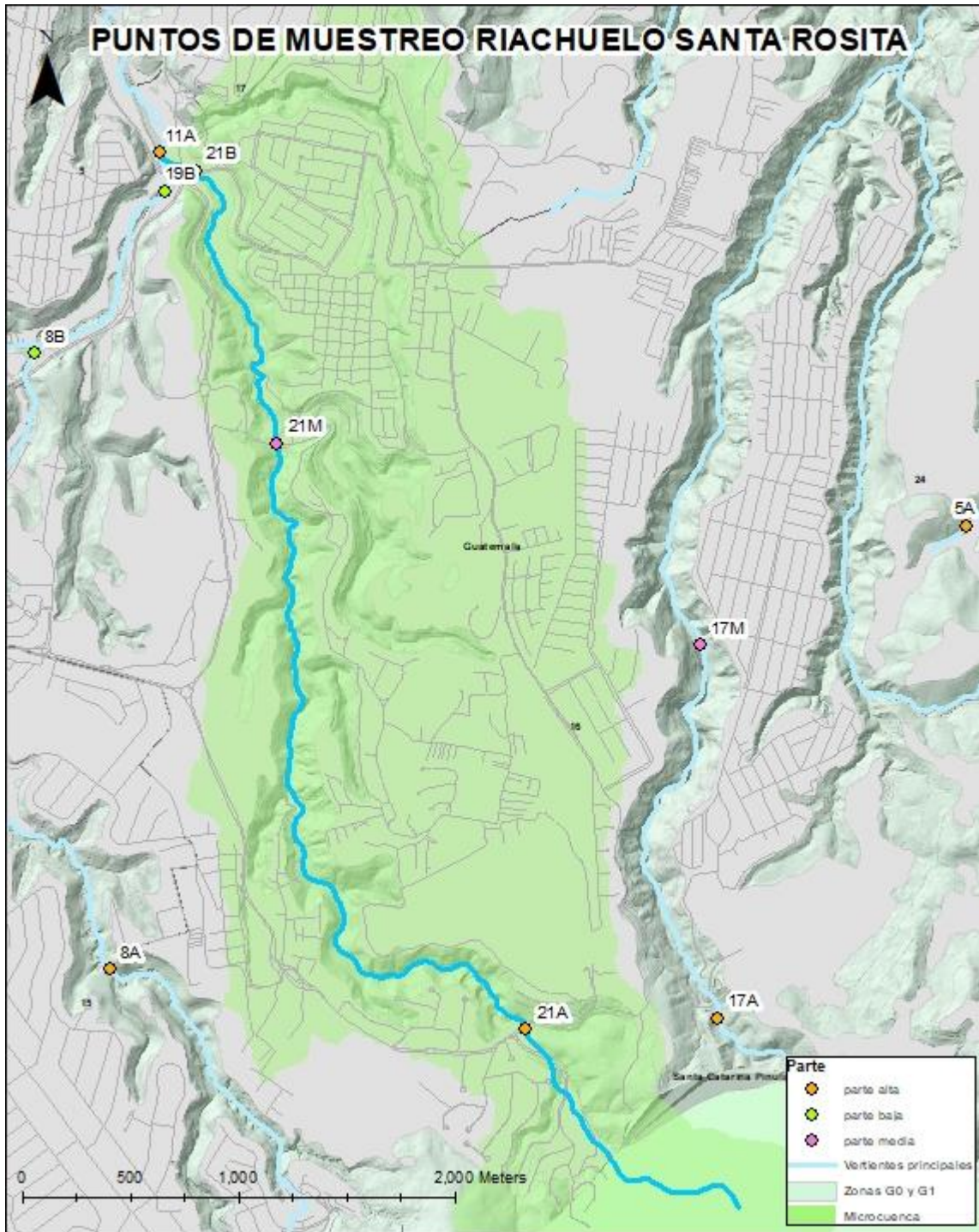


Continuación del apéndice 4.

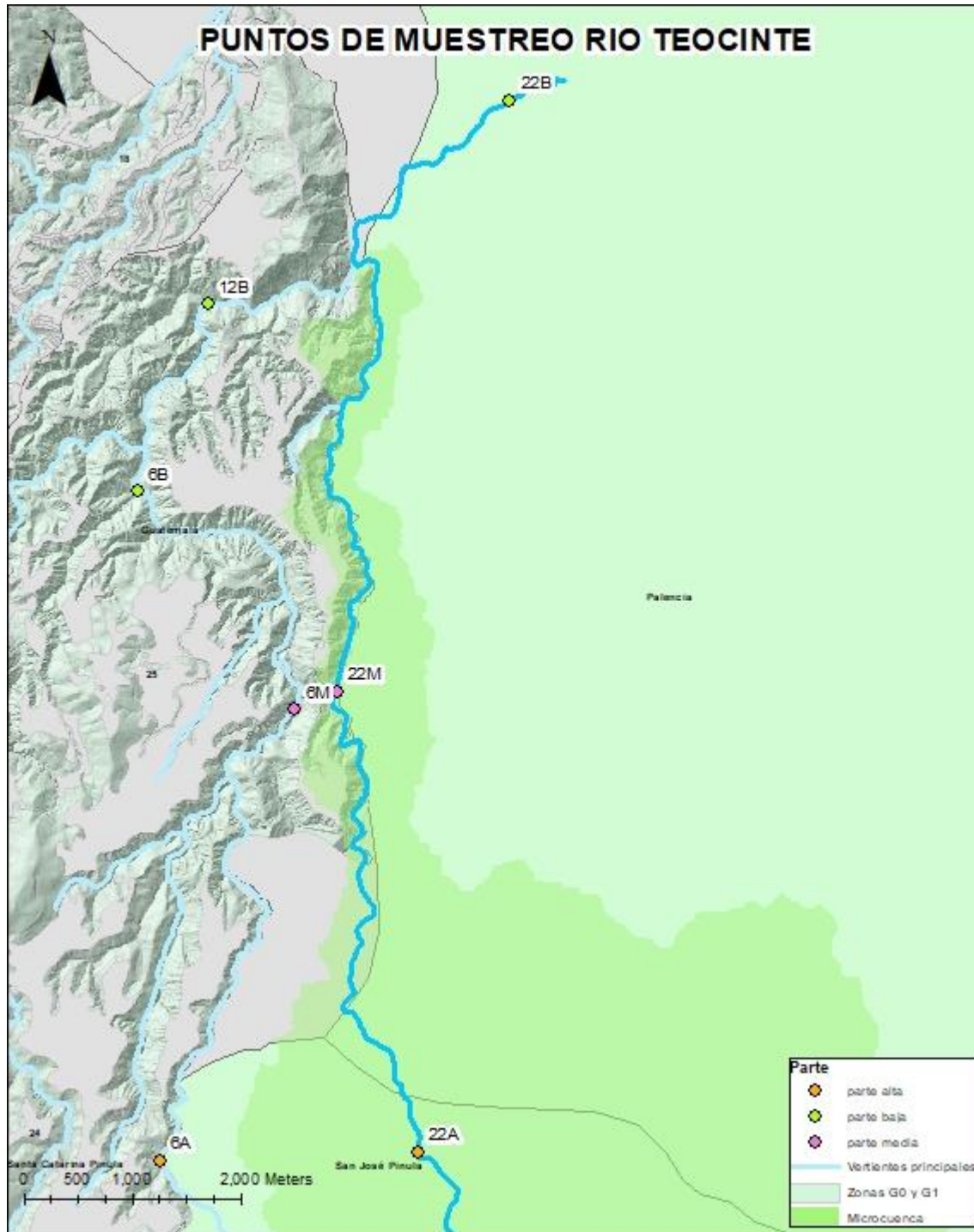




Continuación del apéndice 4.

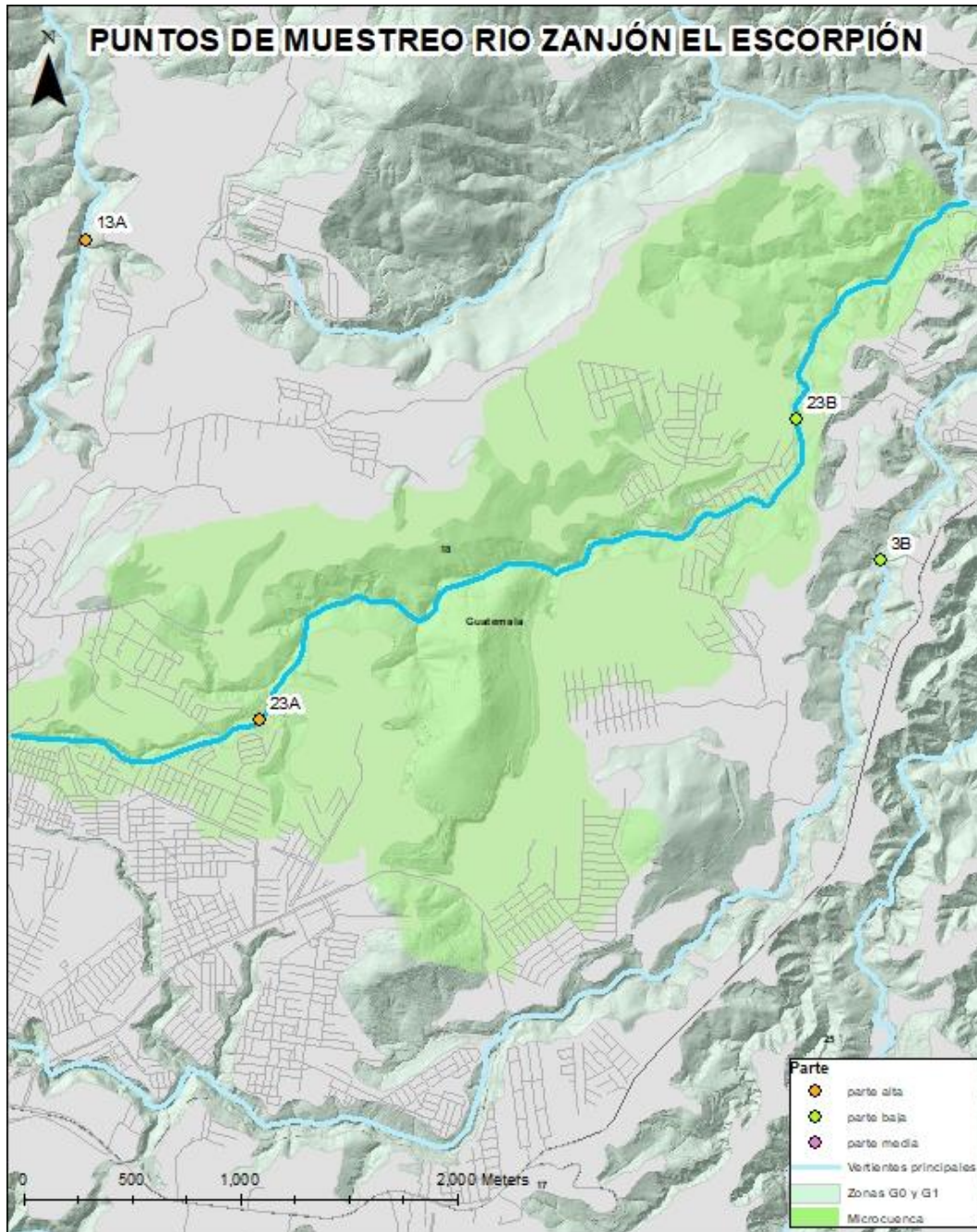


Continuación del apéndice 4.





Continuación del apéndice 4.



Fuente: elaboración propia, empleando ARCGIS.



## ANEXO

### Anexo 1. Precios de análisis varios para muestra de río empresas privadas

Parámetros	Precios unitarios por muestra
Coliformes fecales	175,00
pH	65,00
DBO	202,00
DQO	193,00
Nitratos	95,00
Fosfatos	83,00
Turbiedad	65,00
Sólidos disueltos totales	100,00
Sólidos suspendidos totales	130,00
Conductividad eléctrica	65,00
Total	1,173,00

Fuente: Cotización empresa privada.



