



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

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE AGUA SUPERFICIAL
PARA POTABILIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RÍO MOPÁN, PETÉN, GUATEMALA**

Mary Karen Carrillo

Asesorado por el Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez

Guatemala, marzo 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE AGUA SUPERFICIAL
PARA POTABILIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RÍO MOPÁN, PETÉN, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARY KAREN CARRILLO

ASESORADO POR EL ING. VÍCTOR MAUEL MONZÓN VALDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MARZO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgén Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
EXAMINADOR	Ing. Víctor Herbert de León Morales
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:

CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE AGUA SUPERFICIAL PARA POTABILIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RÍO MOPÁN, PETÉN, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 20 de noviembre de 2014.



Mary Karen Carrillo

Guatemala, 26 de julio de 2016

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

Estimado Ingeniero Wong

Por este medio le envío mi dictamen de aprobación del informe final del trabajo de graduación titulado: **“Caracterización fisicoquímica y microbiológica de agua superficial para potabilización, proveniente del río Mopán, Petén, Guatemala”**. Trabajo que podrá continuar el proceso requerido por el estudiante universitario MARY KAREN CARRILLO quien se identifica con carne No. 2008-80035, estudiante de la Carrera de Ingeniería Química y es asesorado por mi persona.

Sin otro particular y agradeciendo de antemano su fina atención a la presente, me suscribo de usted.

Atentamente,

Inga. Víctor Manuel Monzón

Colegiado 656

Catedrático Universitario

Procesos Químicos Industriales, Análisis Cuantitativo

Universidad de San Carlos de Guatemala

Ing. Qco. Víctor Manuel Monzón Valdez
Colegiado No. 656



Guatemala, 24 de octubre de 2016.
Ref. EIQ.TG-IF.063.2016.

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

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **077-2014** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Mary Karen Carrillo**.
Identificada con número de carné: **2008-80035**.
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

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

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE AGUA SUPERFICIAL PARA POTABILIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RÍO MOPÁN, PETÉN, GUATEMALA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Víctor Manuel Monzón Valdez**.

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

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Inga. Adela María Marroquín González
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.009.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **MARY KAREN CARRILLO** titulado: **“CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE AGUA SUPERFICIAL PARA POTABILIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RÍO MOPÁN, PETÉN, GUATEMALA”**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Carlos Salvador Wong Davila
Director
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, febrero 2017

Cc: Archivo,
CSWD/ale

Universidad de San Carlos
De Guatemala

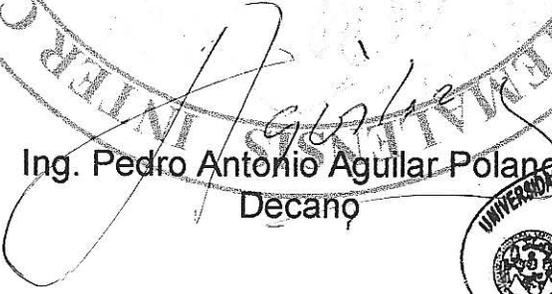


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.115-2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE AGUA SUPERFICIAL PARA POTABILIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RÍO MOPÁN, PETÉN, GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Mary Karen Carrillo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, marzo de 2017

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el principio de la sabiduría y estar presente en todas las etapas de mi vida, guiándome y llenándome de bendiciones.
- Mis padres** Adilia y José Carrillo por su apoyo incondicional, la inspiración de ser cada día mejor, valores inculcados, motivación principal en mi vida y por enseñarme que la educación es la mejor herencia en la vida.
- Mis hermanas** Noelia y Dalila Carrillo, por ser mis protectoras, guía hacía una meta en la vida. Su apoyo, compañía y ejemplo de vida, hacen parte de lo que hoy soy.
- Mis hermanos** José y Otoniel Carrillo por compartir una vida conmigo, por su amor, protección y apoyo incondicional.
- Mi tía** Manuela Yac por estar presente en todo momento de mi vida y los consejos invaluable. Es usted una segunda madre para mí.
- Mi abuela** Ermelinda Carrillo (Q.E.P.D.) porque tu felicidad siempre ha sido vernos triunfar y que todos

seamos mejores día a día. Por bendecirnos y ser nuestra intermediaria desde el cielo.

Mis amigas de siempre

Flor Flores de Marín y Patricia Guillermo porque siempre han sido más que solo amigas, han sido compañeras de estudio y ahora compañeras de vida. Sin el esfuerzo conjunto y apoyo incondicional de ustedes este logro no sería una realidad el día de hoy.

Mi compañero de vida

César Aceytuno, mi motor impulsor y complemento de vida. Gracias por tu amor, comprensión, paciencia y enseñarme que las mejores cosas en esta vida solo se logran con dedicación, esfuerzo y sacrificio.

**Familia Aceytuno
Sagastume**

Nury y Augusto Aceytuno, por ser otros padres para mí y hacer de su hogar mi segundo hogar. Gracias por apoyarme en cada momento de este trayecto.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala

Agradezco la oportunidad a mi casa de estudios por permitirme adquirir nuevos conocimientos, además de alcanzar metas personales y profesionales.

Facultad de Ingeniería

Por permitirme culminar esta meta en la que catedráticos y compañeros han aportado conocimiento y experiencia, en especial al Ingeniero Manuel Tay quien ha sido formador de la excelencia. El día de hoy hace realidad mi ilusión de finalizar la carrera de Ingeniería Química.

Mis amigos

Flor Flores, Patricia Guillermo, Jeanny Ramírez, Karina Farias, Karla Cay, Lester Luna, Luis Chan, Luis Tejeda, Omar Ordoñez, Omar Chanta, Gomer Enríquez, Eleazar Méndez, Antonio Melgar, Nathaly Arriaza, Javier Vallejos, Miguel Patzán, Lupita Arriaga, Sam Angel, por su amistad, el tiempo compartido, el intercambio de conocimiento, por creer y ser parte de este sueño.

Mi asesor

Ing. Víctor Monzón, por compartir su conocimiento y experiencia para el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
Hipótesis	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Agua potable y su importancia	5
2.2. Fuentes de origen de agua.....	6
2.2.1. Río Mopán y sus aguas	6
2.2.2. Fuentes de agua dulce para abastecimiento de agua potable	9
2.2.3. Agua superficial	9
2.2.4. Composición fisicoquímica de agua superficial	10
2.2.5. Composición biológica del agua superficial	10
2.3. Agua Potable	12
2.3.1. Características físicas.....	12
2.3.2. Características químicas	13
2.3.3. Características biológicas	13
2.3.4. Requerimientos para agua de consumo humano COGUANOR.....	14

2.4.	Calidad del agua	16
2.4.1.	Características físicas	17
2.4.1.1.	Color.....	17
2.4.1.2.	Olor y sabor.....	18
2.4.1.3.	Temperatura.....	20
2.4.1.4.	pH.....	20
2.4.1.5.	Turbiedad	21
2.4.1.6.	Sólidos y residuos	22
2.4.2.	Características químicas	24
2.4.2.1.	Alcalinidad	24
2.4.2.2.	Aluminio.....	24
2.4.2.3.	Amonio	25
2.4.2.4.	Arsénico	25
2.4.2.5.	Bario	25
2.4.2.6.	Cianuro.....	26
2.4.2.7.	Cinc	26
2.4.2.8.	Cloruros.....	27
2.4.2.9.	Cobre.....	27
2.4.2.10.	Dureza.....	27
2.4.2.11.	Fluoruros	29
2.4.2.12.	Hierro.....	29
2.4.2.13.	Magnesio.....	29
2.4.2.14.	Manganeso.....	30
2.4.2.15.	Mercurio	30
2.4.2.16.	Nitritos y nitratos.....	30
2.4.2.17.	Oxígeno disuelto	31
2.4.2.18.	Sulfatos	31
2.4.3.	Características biológicas.....	31
2.4.3.1.	Escherichia coli (<i>E. Coli</i>).....	31

	2.4.3.2.	Coliformes totales	32
2.5.		Instructivo para toma de muestra de agua	32
2.6.		Métodos fisicoquímico para análisis de aguas	33
2.7.		Método microbiológico para análisis de aguas	37
3.		METODOLOGÍA.....	39
3.1.		Variables.....	39
	3.1.1.	Variables dependientes	39
	3.1.2.	Variables Independientes	39
3.2.		Delimitación de campo de estudios	40
3.3.		Recursos humanos disponibles.....	41
3.4.		Recursos materiales disponibles	41
	3.4.1.	Materia prima y reactivos.....	41
	3.4.2.	Material de vidrio	42
	3.4.3.	Equipo	42
3.5.		Técnica cualitativa y cuantitativa	42
3.6.		Recolección y ordenamiento de información	47
3.7.		Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	48
3.8.		Análisis estadístico	49
3.9.		Plan de análisis de resultados	53
	3.9.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables	53
	3.9.2.	Programas a utilizar para análisis de datos	53
4.		RESULTADOS	55

5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	63
5.1.	Determinación de la calidad del agua para consumo humano	63
5.1.1.	Análisis físico.....	63
5.1.2.	Análisis químico	64
5.1.3.	Análisis microbiológico	65
5.1.4.	Análisis estadísticos	66
	CONCLUSIONES.....	67
	RECOMENDACIONES	69
	BIBLIOGRAFÍA.....	71
	APÉNDICE	75
	ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación del Río Mopán, Petén, Guatemala	7
2.	Mapa de la aldea San Jorge, ubicado en el municipio de San Ignacio, Belice.....	8
3.	Distribución de tamaños de partículas en el agua.....	22
4.	Diagrama de procedimiento para características física de olor, sabor, color, turbiedad y pH	43
5.	Diagrama de procedimiento para determinar cloro residual y dureza del agua	44
6.	Diagrama de procedimiento para determinación de Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Al, Mn y Hg	45
7.	Diagrama de procedimiento para análisis microbiológico	46

TABLAS

I.	Agentes patógenos y organismos productores de toxinas en aguas superficiales	11
II.	Parámetros físicos para agua potable establecido por COGUANOR ..	14
III.	Parámetros químicos para agua potable establecido por COGUANOR.....	15
IV.	Límites establecidos por COGUANOR para las sustancias no deseadas en agua potable	15
V.	Límites máximos permisibles de las sustancias inorgánicas con significado para la salud.....	16

VI.	Olores característicos del agua y su origen	18
VII.	Límites de percepción de sales comunes y compuestos en el agua (mg/L)	19
VIII.	Clasificación de la dureza del agua expresada como ppm de CaCO_3 ...	28
IX.	Medio para análisis microbiológico	38
X.	Definición de variables dependientes	39
XI.	Definición de variables independientes.....	39
XII.	Tabla de recolección de datos de pruebas realizadas	48
XIII.	Organización de los datos del análisis de varianza	51
XIV.	Tabla de resultados del análisis de varianza	51
XV.	Tabla de datos para organizar análisis de varianza	52
XVI.	Tabla de resultados del análisis de varianza para toma de decisión	52
XVII.	Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, diciembre 2014	55
XVIII.	Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, enero 2015.....	57
XIX.	Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, febrero 2015	58
XX.	Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, marzo 2015.....	60

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Ca	Calcio
CaCO ₃	Carbonato de calcio
Cl ⁻	Cloro residual
ppm	Concentración expresada en partes por millón
Z	Confiabilidad
σ	Desviación estándar
<i>E. Coli</i>	<i>Escherichia Coli</i>
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
Fe	Hierro
H _i	Hipótesis de aceptación
H _o	Hipótesis nula
Mg	Magnesio
Mn	Manganeso
m	Metro
mL	Mililitro
mm	Milímetro
nm	Nanómetro
NO ₃ ⁻	Nitrato
NO ₂ ⁻	Nitrito
x _i	Número de corrida
N	Número de corridas
NMP	Número más probable

%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
P	Probabilidad de éxito
Q	Probabilidad de fracaso
\bar{x}	Promedio
u	Unidades de color verdadero en la escala platino-cobalto
UNT	Unidades nefelométricas de turbiedad

GLOSARIO

Agua potable	Agua que cumpla las características establecidas por las normas COGUANOR NGO 29 001, que indica que el agua debe estar libre de color, olor, sabor, carecer de sustancias químicas y organismos patógenos que puedan causar algún daño a la salud.
Agua superficial	Es agua proveniente de precipitaciones que no se infiltra, puede presentarse en forma de río, lagunas, reservorio.
ANOVA	Es un análisis estadístico de varianza para detectar la variabilidad de un grupo de datos respecto a otros, utilizando el mismo procedimiento.
Calidad del agua	Son las características físicas, químicas y biológicas que determinan si el agua es apta para el uso destinado.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Coliformes fecales	Grupo bacteriano presente en los intestinos de los mamíferos y los suelos, que representan una indicación de la contaminación fecal del agua.

Conductividad	Capacidad de una sustancia para conducir electricidad.
Dureza Total	Es la medida de concentración de calcio y magnesio expresada como miligramo por litro de carbonato de calcio.
<i>Escherichia Coli</i>	Es el indicador más preciso de contaminación fecal que fermentan la lactosa y otros sustratos.
Límite máximo aceptable (LMA)	Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.
Límite máximo permisible (LMP)	Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba del cual, el agua no es adecuada para consumo humano.
OMS	Organización Mundial de la Salud.

RESUMEN

El presente estudio consistió en analizar las características fisicoquímicas del Río Mopán, ubicado en el departamento de Petén, Guatemala, para posibilidad de uso como agua potable.

Para dicho estudio se procedió a tomar muestras durante 4 meses, 2 muestras por mes, para un total de ocho muestras. A las muestras de agua se realizó análisis físico, químico y bacteriológico, posteriormente se compararon los resultados con la norma para agua potable COGUANOR NGO 29 001.

Los indicadores físicos que se analizaron fueron color, olor, sabor, pH, temperatura, turbiedad y sólidos totales disueltos, el resultado indica que físicamente el agua no es rechazable ya que cumple con el límite máximo aceptable (LMA) de la norma COGUANOR NGO 29 001.

El análisis químico determinó que el contenido de constituyentes químicos como el cloro, nitrato, nitritos, calcio, magnesio, sulfato, boro, manganeso, cobre, hierro y zinc también están dentro de un rango aceptable para que el agua sea de consumo humano. Se procedió a realizar un análisis microbiológico, sin embargo, el agua no cumple con las especificaciones establecidas por la norma COGUANOR NTGO 29 001 debido a presencia de contaminación fecal (*E. Coli*), con un valor de 6,9 NMP/100 mL superando el valor permisible que debe ser menor a 1,1 o en el mejor caso no detectable.

Los resultados reflejan que el agua proveniente del Río Mopán no es apta para consumo humano sin tener un tratamiento químico previo para eliminar organismos patógenos que puedan causar daño a la salud humana.

OBJETIVOS

General

Analizar y evaluar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua superficial proveniente del Río Mopán para recolección de datos y comparación con los límites permisibles por la norma COGUANOR NGO 29 001 para consumo como agua potable por los pobladores de la aldea San Jorge, San Ignacio, Belice.

Específicos

1. Definir un método de muestreo para agua del Río Mopán.
2. Realizar caracterización fisicoquímica al agua del Río Mopán.
3. Determinar la presencia de metales pesados como zinc, mercurio, aluminio y hierro y en qué proporción se encuentran con el método de espectrofotometría por absorción atómica.
4. Realizar pruebas microbiológicas para determinar la presencia de *Escherichia coli*, y coliformes totales.
5. Definir si la fuente de agua es utilizable para potabilización según normas nacionales e internacionales y la posibilidad de un tratamiento de agua para que sea apta para consumo humano.

HIPÓTESIS

Hipótesis de trabajo:

Es posible analizar y evaluar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua superficial proveniente del Río Mopán para los pobladores de la aldea San Jorge, San Ignacio, Belice, para uso como agua potable.

Hipótesis estadística:

$H_{i,1}$: Es posible realizar la caracterización fisicoquímica del agua proveniente del Río Mopán, para determinar su uso como agua potable.

$H_{i,2}$: Es posible detectar la presencia de metales pesados como Al, Zn, Fe y Hg en muestras de agua del Río Mopán, utilizando el método de espectrofotometría por absorción atómica.

$H_{i,3}$: Un análisis microbiológico se puede utilizar para determinar la calidad del agua del Río Mopán.

$H_{o,1}$: No es posible realizar la caracterización fisicoquímica del agua proveniente del Río Mopán para determinar su uso como agua potable.

$H_{o,2}$: No es posible detectar la presencia de metales pesados como Al, Zn, Fe y Hg en muestras de agua del Río Mopán, utilizando el método de espectrofotometría por absorción atómica.

H_{0,3}: Un análisis microbiológico no se puede utilizar para determinar la calidad del agua del Río Mopán.

INTRODUCCIÓN

El agua es, en la mayor parte de las regiones del mundo, un recurso escaso cuya demanda es creciente en sus usos tradicionales y en nuevos usos, lo que hace que, en la mayor parte de las sociedades dadas sus funciones sea considerada como un bien público.

La Organización Mundial de la salud (OMS), indica que el nivel de servicio de agua o acceso básico, en promedio, no supera los 20 litros por persona al día, atendiendo las necesidades como el lavado de manos y la higiene básica de la alimentación; es difícil garantizar el lavado de ropa y de baño, a no ser que se practique en la fuente de agua más cercana. En áreas rurales, por lo general, la alimentación de agua potable proviene muchas veces de agua pluvial o de pozos que ahora se encuentran con escasez de agua.

La alternativa de áreas rurales para obtener agua ha recurrido al uso de agua superficial (agua de ríos). La problemática de usar agua proveniente de ríos para uso cotidiano es cuando estas no han sido sometidas a análisis fisicoquímicos y microbiológicos para determinar sus características, como es el caso del área San Jorge, San Ignacio, Belice.

La carencia de cuidar la gestión y administración de recursos no renovables como el agua, es uno de los problemas al cual nos enfrentamos por contribución a la explotación y contaminación de las fuentes de agua. La contaminación altera las características fisicoquímicas y microbiológicas propias del agua, haciéndola no apta para consumo humano.

Para que el agua sea consumible y apta para consumo humano debe cumplir una serie de requisitos/normas fisicoquímicas y microbiológicas que establecen las entidades nacionales e internacionales como la Comisión Guatemalteca de Normas y Organización Mundial de la Salud. El requisito para que el agua sea apta para consumo humano se refiere como agua potable y se puede resumir en que esta debe estar libre de color, olor, sabor y carecer de sustancia químicas y organismos patógenos que puedan causar algún daño a la salud.

Es sumamente importante llevar a cabo los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua para eliminar o reducir los efectos secundarios y enfermedades que representan un peligro a la salud para los usuarios de las aguas del Río Mopán.

1. ANTECEDENTES

En la actualidad, se requiere de alternativas para muchas actividades debido a la contaminación actual del planeta, la utilización de agua potable a partir de agua superficial no es la excepción. La gestión y administración adecuada de los recursos hídricos obliga a conocer los comportamientos y/o características para potabilización entre, otros usos.

El agua es una sustancia vital para el diario vivir, por lo que la potabilización podría considerarse como la necesidad más destacada, siendo importante la implementación de métodos eficaces y económicos para el diagnóstico de las características del agua y, a partir de estos, poder deducir el tratamiento adecuado para que sea apto para consumo humano.

Existe una variedad de estudios de investigación de análisis fisicoquímico y microbiológico de agua de distintas fuentes. Entre los estudios más destacados y de relevancia se pueden mencionar:

- Dr. Snow (1854), durante la epidemia del cólera demostró que el causante de la transmisión de cólera se debió a agua de un pozo contaminado con un "veneno mórbido" llamado cólera. Marcó el inicio de la evaluación de la calidad higienicosanitaria de las aguas realizando una serie de pruebas.
- Clodomiro Picado (1915), en Costa Rica realizó los primeros análisis de agua específicamente del Río Tirbí y en el acueducto de San José, utilizando normas europeas para estos tipos de agua.

- Machado y Roldán (1981), estudiaron las características fisicoquímicas y biológicas del Río Anorí (Colombia) y sus principales afluentes, observando cómo estos presentan pocas variedades fisicoquímicas a lo largo del tiempo.

Machado (2001), realizó una caracterización fisicoquímica y biológica de las cuencas de los ríos Tapias en el departamento de Caldas con el fin de evaluar la evolución de las corrientes.

- Escherich (1984), descubrió un grupo de bacterias presentes en grandes cantidades en el intestino de los animales de sangre caliente y el hombre, al cual llamó Grupo Coliforme. Este hecho sirvió como instrumento para iniciar la evaluación de la calidad microbiológica de las aguas.

Posteriormente se descubrió que existían bacterias dentro de este mismo grupo que tenían la habilidad de multiplicarse a una temperatura de 44,5 °C, y les llamó Grupo Coliforme Fecal, actualmente denominadas Coliformes Termoresistentes (OMS 1995, los cuales son representativos de contaminación fecal).

- Roldán (1992), determinó que el pH oscila entre 5,0 y 9,0 en sistemas acuáticos. El pH fluctúa considerablemente con la hora del día y la profundidad del agua, debido a que el pH está estrechamente relacionado con la concentración de dióxido de carbono.

También se concluye que el primer factor fisicoquímico que debe conocerse es la temperatura. Se relaciona pH, turbidez y temperatura, respecto al material orgánico presente en el agua.

En la primera mitad de siglo XX, los países industrializados usaron criterios y normas regionales y nacionales para evaluar la calidad físico-química y microbiológica de las aguas para consumo humano (ACH). En la segunda mitad las Naciones Unidas, mediante la Organización Mundial de la Salud (OMS), estableció estándares o normas internacionales para evaluar la calidad del ACH, las cuales fueron promulgadas en 1958, 1963 y 1971. Sin embargo, estos estándares se realizaron en países desarrollados, los cuales contaban con tecnologías avanzadas que impedían su real aplicación en países en desarrollo.

Debido a esta debilidad, la misma OMS estableció en 1984 las primeras “Guías para la Calidad del Agua Potable”; una década después publicaron la segunda edición y recientemente (2004) la tercera edición. Estas tres ediciones tienen como objetivo, establecer los fundamentos científicos, con el propósito de fijar valores guías físico-químicos, microbiológicos y biológicos para que cada país los adapte a sus condiciones socioeconómicas, culturales, geográficas y avances tecnológicos, y así se concreten Normas Nacionales.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Agua potable y su importancia

El agua, un recurso natural limitado, es la sustancia universal por excelencia, ya que posee propiedades únicas como disolvente, además es fundamental para la sobrevivencia en el Planeta Tierra. El derecho humano al agua es indispensable para vivir dignamente y es condición previa para la realización de actividades cotidianas.

Actualmente, tanto los países en desarrollo como los desarrollados, empiezan a enfrentar problemas de insuficiente suministro de agua o escasez total de este líquido vital. Además, derivado de los problemas de escases, hoy nos enfrentamos ante la realidad de saneamiento inadecuado, lo cual constituye la principal causa de contaminación del agua y enfermedades relacionadas con este.

Es transcendental que el agua sea apta para el consumo humano y sus actividades diarias. El agua se considera apta para consumo humano si cumple una serie de requisitos según normativos avalados por organizaciones nacionales (COGUANOR) e internacionales (OMS) entre los que se pueden mencionar valores máximos y mínimos de minerales (cloruros, nitrato, amonio, calcio, magnesio, fosfato, etc.), color, olor, sabor, pH y gérmenes patógenos.

Los indicadores de la calidad del agua, como las mencionadas anteriormente, se deben a características propias de la fuente de origen y es necesario realizar un estudio fisicoquímico y microbiológico dado el nivel de

contaminación que se hace presente y así recomendar el debido tratamiento antes de ser distribuida como agua potable.

2.2. Fuentes de origen de agua

La corteza terrestre está cubierta aproximadamente por 71 % de agua, del cual 96,5 % de este total se localiza en los océanos, 1,74 % glaciares y casquetes, 1,72 % suponen los depósitos subterráneos y el restante 0,04 % se reparte en ríos, lagos, atmósfera, humedad del suelo y seres vivos.

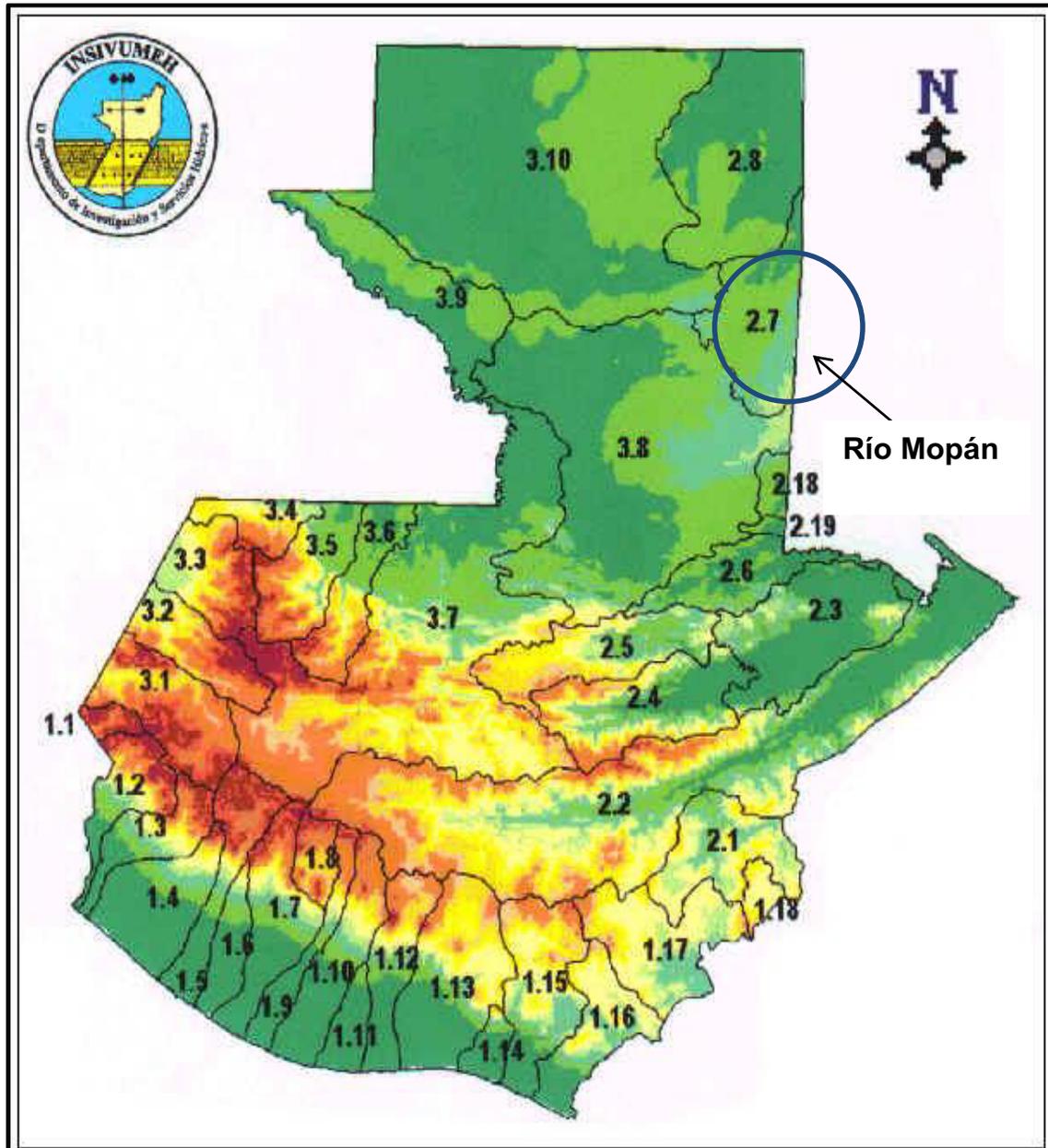
2.2.1. Río Mopán y sus aguas

El Río Mopán posee un cauce de gran envergadura que, por sus características y por presentarse en una gran sección geográfica del sureste de Petén (la zona geográfica que cruza el bajo Mopán), se desarrolla en la sabana húmeda, teniendo una topografía abrupta hacia el extremo este (zona del bajo Río Chiquibul).

La cuenca del bajo Mopán, da inicio en terrenos que oscilan entre los 200 y 300 m s.n.m., aproximadamente en los 16°57' de latitud norte. Durante su curso hacia el noreste, recibe las vertientes de los ríos Chiquibul y Salsipuedes. Luego de recibir el caudal de dichos ríos, el Río Mopán corre hacia el actual territorio beliceño. El río no presenta contaminaciones de mayor grado, sin embargo no existen datos que indiquen la calidad del agua.

En las siguientes figuras se puede observar el Departamento de Petén, Guatemala, los ríos pertinentes al departamento y la distribución del Río Mopán:

Figura 1. Ubicación del Río Mopán, Petén, Guatemala



Fuente: INSIVUMEH. *Mapa de cuencas y vertientes de la República de Guatemala.*

<http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/rios%20de%20guate.htm>.

Consulta: 26 de octubre de 2014.

Figura 2. Mapa de la aldea San Jorge, ubicado en el municipio de San Ignacio, Belice



Fuente: Mapa de Belice - *Belice Imagen de satélite*.

<http://geology.com/world/belize-map.gif>. Consulta: 26 de octubre de 2014.

2.2.2. Fuentes de agua dulce para abastecimiento de agua potable

Las principales fuentes de abastecimiento de agua potable son de origen de agua dulce que tiene 3 % del total del agua terrestre y de este porcentaje 54 % es para uso doméstico. Se estima que del total de uso doméstico se destina 20 % en flora y fauna (transporte de bienes en barcos) y del 34 % restante se utiliza 70 % en irrigación, 20 % para uso industrial y 10 % para hogares.

2.2.3. Agua superficial

El agua superficial es aquella que se encuentra circulando o en reposo sobre la superficie de la tierra. Estas masas de agua sobre la superficie de la tierra, forma ríos, lagos, lagunas, pantanos, charcas, humedales, y otros similares, sean naturales o artificiales.

Por otro lado, las aguas superficiales se utilizan para potabilización, sin embargo, el agua como solvente universal es capaz de transportar casi todas las sustancias que encuentra a su paso. La contaminación de recursos hídricos, debido a residuos domésticos e industriales es un problema grave que afecta la calidad del agua en la actualidad. Es indispensable conocer las características físicas, químicas y biológicas del agua antes de seleccionarla como fuente de agua cruda, ya que estos definen el tipo de tratamiento a integrar; en algunos casos el costo de tratamiento de agua puede ser elevado.

2.2.4. Composición fisicoquímica de agua superficial

La composición química del agua superficial se define a partir de los análisis de muestras recogidas adecuadamente y se cuantifica por medio de la concentración de cada constituyente analizado.

La incorporación de los constituyentes al agua, en variedad y concentraciones diferentes, es posible debido a su elevado poder disolvente y a sus propiedades de combinación, esta unión permite que sustancias como aerosoles, polvo y sales diversas presentes en la atmósfera, reaccionen con él.

Los factores que condicionan la composición del agua son múltiples, entre ellos cabe citar: naturaleza, superficie y duración del contacto, temperatura, presión, existencia de gases, grado de saturación del agua en relación con las distintas sustancias incorporables.

2.2.5. Composición biológica del agua superficial

En las aguas superficiales se encuentra una amplia gama de organismos no perceptibles a simple vista. En condiciones normales, estos organismos permiten el desarrollo de los ciclos biológicos y químicos en el cuerpo de agua y no son necesariamente nocivos para la salud o para el tratamiento del agua.

Los organismos propios de las aguas superficiales están en permanente actividad y ninguno vive aislado. Su existencia depende del medio que los rodea. Se entiende por medio, tanto el ambiente físico como los organismos con los cuales se convive. Todos forman parte de un ecosistema.

La supervivencia de los microorganismos propios de las aguas superficiales está ligada a la presencia de ciertos factores, tales como temperatura, horas luz e intensidad luz, gas carbónico, nutrientes, minerales, entre otros; precisamente la contaminación del agua altera dichos factores debido a la introducción de sustancias extrañas al ecosistema.

El uso de agua superficial como fuente de agua de bebida implica un riesgo de transmisión de enfermedades hídricas debido a contaminación fecal o de agentes patógenos involucrados con la transmisión por esta vía los cuáles son: bacterias, virus, cianobacterias y helmintos y los responsables de causar diferencias en características fisicoquímicas propias del agua como olor, color, sabor, pH, turbiedad y enfermedades, desde gastroenteritis simple hasta serios y a veces fatales cuadros de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. Los agentes patógenos y los organismos productores de toxinas que pueden estar presentes en aguas superficiales pertenecen a los siguientes grupos:

Tabla I. **Agentes patógenos y organismos productores de toxinas en aguas superficiales**

Bacterias	<i>Escherichia coli, Salmonella, Shigella, Vibrio cholerae, Yrsenia entercolitica, Campylobacter jejuni</i>
Virus	<i>Enterovirus, Rotavirus, Adenovirus</i>
Protozoos	<i>Giardia, Cryptosporidium, Entamoeba histolytica, Balantidium coli.</i>
Helmintos	<i>Ascaris, Trichuris, Taenia</i>
Cianobacterias	<i>Anabaena, Microcystis</i>

Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004.
Tratamiento de agua para consumo humano. 60 p.

2.3. Agua Potable

Se define como agua potable aquella agua que podemos consumir o beber sin que exista peligro para la salud, es decir que debe estar libre de sustancias o microorganismos patógenos. Para que el agua sea potable debe cumplir una serie de límites máximos permisibles y aceptables respecto a características fisicoquímicas y microbiológicas, según normas nacionales (COGUANOR en Guatemala) e internacionales (OMS).

En Guatemala, la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) define el agua potable como: "Agua potable es aquella que por sus características de calidad especificadas en esta norma, es adecuada para el consumo humano" y la Organización Mundial de la Salud (OMS) dicta "se considera agua potable aquella que asegure la inocuidad mediante la eliminación o la reducción a una concentración mínima de los componentes peligrosos para la salud"¹.

2.3.1. Características físicas

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, entre otros), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua.

Se consideran importantes las siguientes:

- Turbiedad
- Sólidos solubles e insolubles

¹ Organización Mundial de la Salud. *Normas Internacionales para el agua potable*. p. 85.

- Color
- Olor y sabor
- Temperatura
- pH

2.3.2. Características químicas

A pesar de la gran variabilidad de los elementos presentes en el agua y de sus concentraciones, estos han sido clasificados completando la clasificación de Freeze y Cherry (1979) por su frecuencia de aparición y valor de concentración decrecientes.

- Constituyentes mayoritarios o fundamentales: Carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y nitratos (aniones) y Ca, Mg, Na, K, NH₄ (cationes) y otros como CO₂, O₂, SiO₄H₄, o SiO₂.
- Constituyentes minoritarios o secundarios: Mn, Fe, Li, Sr, Zn.

2.3.3. Características biológicas

El agua potable no debe contener patógenos como bacterias, virus, cianobacterias y helmintos que puedan afectar la salud del consumidor. Específicamente, “los indicadores de contaminación fecal, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* no deben estar presentes en 100 mL de muestra”². Esta calidad debe mantenerse desde que el agua sale de la planta de tratamiento de agua (o de la Fuente de agua) hasta llegar al consumidor.

² Organización Mundial de la Salud. *Normas Internacionales para el agua potable*. p. 92.

2.3.4. Requerimientos para agua de consumo humano COGUANOR

En Guatemala, la calidad del agua potable está regida por la Norma NGO 29 001:98 de la Comisión Guatemalteca de Normas. La norma establece estándares de parámetros físicos, químicos y biológicos bajo los siguientes criterios:

- Límite máximo aceptable (LMA): asegura que el agua es de buena calidad.
- Límite máximo permisible (LMP): es el valor máximo que no puede sobrepasarse para considerar el agua como potable.

Tabla II. **Parámetros físicos para agua potable establecido por COGUANOR**

Características	LMA	LMP
Color (1)	5,0 u	35,0 u (1)
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad (2)	5,0 UNT	15,0 UNT (2)
Conductividad eléctrica	100 μ S/cm	750 μ S/cm
(1) Unidades de color en la escala platino-cobalto (2) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT)		

Fuente: Normas COGUANOR.

Tabla III. **Parámetros químicos para agua potable establecido por COGUANOR**

Características	LMA	LMP
Cloro residual libre	0,5 mg/L	1,0 mg/L
Cloruro (Cl ⁻)	100,000 mg/L	250,000 mg/L
Dureza total (CaCO ₃)	100,000 mg/L	500,000 mg/L
Potencial de hidrógeno	7,0-7,5	6,5-8,5
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L
Temperatura	15,0 °C-25,0°C	34,0 °C
Aluminio (Al)	0,050 mg/L	0,100 mg/L
Calcio (Ca)	75,000 mg/L	150,000 mg/L
Cinc (Zn)	3,000 mg/L	70,000 mg/L
Cobre (Cu)	0,050 mg/L	1,500 mg/L
Magnesio	50,000 mg/L	100,000 mg/L

Fuente: Normas COGUANOR.

Tabla IV. **Límites establecidos por COGUANOR para las sustancias no deseadas en agua potable**

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Fluoruro (F ⁻)	---	1,700
Hierro total (Fe)	0,100	1,000
Manganeso (Mn)	0,050	0,500
Nitrato (NO ₃ ⁻)	---	10
Nitrito (NO ₂ ⁻)	---	1

Fuente: Normas COGUANOR.

Tabla V. **Límites máximos permisibles de las sustancias inorgánicas con significado para la salud**

Características	LMP (mg/L)
Arsénico (As)	0,010
Bario (Ba)	0,700
Boro (B)	0,300
Cadmio (Cd)	0,003
Cianuro (CN ⁻)	0,070
Cromo (Cr)	0,050
Mercurio (Hg)	0,001
Plomo (Pb)	0,010
Selenio (Se)	0,010

Fuente: Normas COGUANOR.

En lo que respecta al análisis microbiológico, COGUANOR establece para el método de filtración por membrana, un número de colonias del grupo coliforme por muestra normal, no mayor a 4 UFC/100 mL, en dos muestras consecutivas, en más de una muestra mensual, cuando se examinan mensualmente menos de 20 muestras, y la ausencia de *E. Coli*.

2.4. Calidad del agua

La calidad de agua tiene importancia universal y puede variar según sea la relación con el uso del recurso. Para potabilización, el agua debe satisfacer parámetros físicos, químicos y microbiológicos de aceptabilidad para evitar riesgos a la salud de los consumidores.

2.4.1. Características físicas

Las características físicas del agua, se llaman así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, entre otros), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua.

2.4.1.1. Color

Esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella. Existen dos tipos de colores:

- Color aparente: es el color que presenta el agua cruda o natural.
- Color verdadero: aquel que queda luego de que el agua ha sufrido el proceso de filtración.

Aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color. Esta característica del agua se atribuye comúnmente a la presencia de compuestos con naturaleza orgánica como taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, entre otros. Se considera que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por las siguientes causas:

- Extracción acuosa de sustancias de origen vegetal
- Descomposición de materia
- Materia orgánica del suelo
- Presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos
- Una combinación de los procesos descritos

Otros factores que influyen en la formación del color en el agua son el pH, temperatura, tiempo de contacto, materia disponible y la solubilidad de compuestos coloreados. Las normas COGUANOR recomiendan 5 unidades de color en la escala platino-cobalto.

“Los principales métodos de remoción de color son la coagulación por compuestos químicos como el alumbre y el sulfato férrico a pH bajos y las unidades de contacto o filtración ascendente”³.

2.4.1.2. Olor y sabor

El sabor y olor están estrechamente relacionados y son las características que constituyen el motivo principal de rechazo por el consumidor.

Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas o provenir de descargas de desechos industriales. La siguiente tabla presenta algunos olores característicos de agua, según su origen.

Tabla VI. Olores característicos del agua y su origen

Naturaleza	Origen
Olor balsámico	flores
Dulzor	<i>Coelosphaerium</i>
Olor químico	Aguas residuales industriales
Olor a cloro	Cloro libre

³ Organización Mundial de la Salud. *Normas Internacionales para el agua potable*. p. 103.

Continuación de la tabla VI.

Naturaleza	Origen
Olor a hidrocarburo	Refinería de petróleo
Olor medicamentoso	Fenol, yodoformo
Olor a azufre	Ácido sulfhídrico
Olor séptico	Alcantarilla
Olor a tierra	Arcillas húmedas
Olor fecaloide	Alcantarilla
Olor a legumbres	Hierbas en descomposición

Fuente: Manual de tratamiento de aguas. *Tratamiento de agua para consumo humano*. p. 11.

En el agua se pueden considerar cuatro sabores básicos: ácido, salado, dulce y amargo. La Tabla VII muestra los límites de percepción de algunas sales y compuestos presentes en el agua.

Tabla VII. **Límites de percepción de sales comunes y compuestos en el agua (mg/L)**

Sustancia	Netamente reconocible	Debidamente perceptible	No apreciable
CaCl ₂ ; NaCl	600	300	150
MgCl ₂	100	60	-
FeSO ₄	-	3,5	1,75
CuSO ₄	7	3,5	1,75
H ₂ S	1,15	0,55	0,30
H ₂ SO ₄	4	2	1
Cl ₂	0,1	0,05	0,05

Continuación de la tabla VI.

Sustancia	Netamente reconocible	Debidamente perceptible	No apreciable
Ca(OCl) ₂	0,5	0,20	0,20

Fuente: Manual de tratamiento de aguas. *Tratamiento de agua para consumo humano*. p. 12.

La OMS recomienda como criterio que por razones organolépticas, las fuentes de abastecimiento deben estar razonablemente exentas de olor y sabor; es decir, en términos generales, que se encuentren en un nivel aceptable.

En algunos casos, la eliminación de los olores puede realizarse mediante la aireación o la adición de carbón activado.

2.4.1.3. Temperatura

Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente.

La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezclado, floculación, sedimentación y filtración.

2.4.1.4. pH

El potencial de hidrogeno (pH) determina la basicidad o acidez, es un factor influyente en algunos fenómenos que ocurre en el agua, como la

corrosión, incrustaciones y en los procesos de tratamientos de agua. Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) deben exhibir un pH entre 5 a 9 ya que este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua⁴.

Cuando las aguas son ácidas, es común la adición de un álcali (por lo general cal) para optimizar los procesos de coagulación.

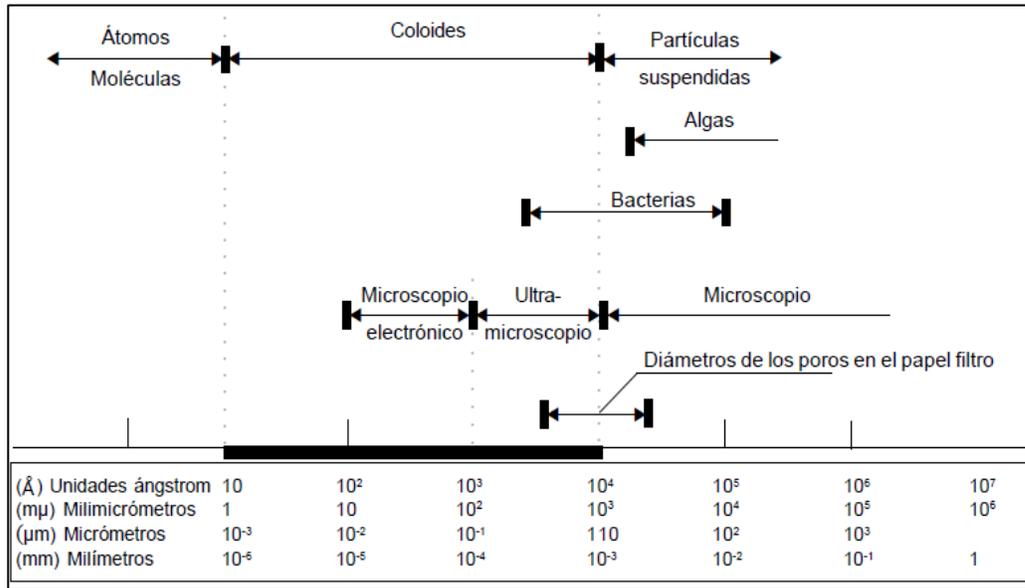
Las guías locales e internacionales establecen un rango de pH 6,5 (menor a 6 es agresiva y corrosivo) a 8,5 para agua potable.

2.4.1.5. Turbiedad

La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera). La figura 1 muestra la distribución de las partículas en el agua de acuerdo con su tamaño. La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado.

⁴ Organización Mundial de la Salud. *Normas Internacionales para el agua potable*. p. 112.

Figura 3. **Distribución de tamaños de partículas en el agua**



Fuente: Manual de tratamiento de aguas. *Tratamiento de agua para consumo humano*. 12 p.

La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad. Las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano recomiendan valores de 1 a 5 UNT.

2.4.1.6. **Sólidos y residuos**

Se denomina así a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada. Los sólidos pueden encontrarse suspendidos o sueltos. La figura 3 muestra la distribución de partículas en el agua según su tamaño. Las formas de partícula pueden estar:

- Disueltas (hasta un milimicrómetro), en cuyo caso físicamente no influirán en la turbiedad, pero sí podrían definir su color u olor.
- Formando sistemas coloidales (1 a 1 000 milimicrómetros), que son las causantes de la turbiedad neta del agua.
- En forma de partículas suspendidas (por encima de 1 000 milimicrómetros), las cuales caen rápidamente cuando el agua se somete a reposo.

Los sólidos y residuos se clasifican como:

- Sólidos totales: Corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua. Equivalen a la suma del residuo disuelto y suspendido. El residuo total del agua se determina a 103–105 °C.

Sólidos totales = sólidos suspendidos + sólidos disueltos

- Sólidos disueltos o residuos disueltos: conocidos como sólidos filtrables, son los que se obtienen después de la evaporación de una muestra previamente filtrada. Comprenden sólidos en solución verdadera y sólidos en estado coloidal, no retenidos en la filtración, ambos con partículas inferiores a un micrómetro (1 μ).
- Sólidos en suspensión: corresponden a los sólidos presentes en un agua residual, exceptuados los solubles y los sólidos en fino estado coloidal. Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio.

- Sólidos volátiles y fijos: son aquellos que se pierden por calcinación a 550 °C, mientras que el material remanente se define como sólidos fijos. La mayor parte de los sólidos volátiles corresponden a material orgánico. Los sólidos fijos corresponden, más bien, a material inorgánico.

2.4.2. Características químicas

A continuación se presentan las diferentes características químicas

2.4.2.1. Alcalinidad

La alcalinidad de un agua determina su capacidad para neutralizar ácidos, esta capacidad debe definirse para ciertos rangos de pH. Así la alcalinidad TAC (alcalinidad con naranja de metilo) mide la capacidad de neutralización hasta pH = 4.5 y la alcalinidad TA (alcalinidad con fenolftaleína) hasta pH = 8.3. En la mayoría de las aguas naturales la alcalinidad está producida prácticamente por los iones carbonato y bicarbonato aunque, en ocasiones, otros ácidos débiles como el silícico, fosfórico, bórico y ácidos orgánicos pueden contribuir de forma notable al desarrollo de esta propiedad (Glynn, Heinke).

2.4.2.2. Aluminio

Es un componente natural del agua, debido principalmente a que forma parte de la estructura de las arcillas. Puede estar presente en sus formas solubles o en sistemas coloidales, responsables de la turbiedad del agua.

Las concentraciones más frecuentes en las aguas superficiales oscilan entre 0,1 y 10 ppm. En el caso del aluminio, la OMS ha establecido un valor guía de 0,2 mg/L para aguas de consumo humano.

2.4.2.3. Amonio

Se le considera un constituyente normal de las aguas superficiales y está íntimamente relacionado con descargas recientes de desagües. Cuando su concentración es mayor de 0,1 mg/L (como N), podría constituirse en un indicador de contaminación por aguas residuales domésticas o industriales.

La OMS establece como valor guía para aguas de bebida 1,5 mg/L, referido más bien a criterios de aceptabilidad (olor y sabor).

2.4.2.4. Arsénico

Puede estar presente en el agua en forma natural. Es un elemento muy tóxico y puede ser cancerígeno para el hombre. Las concentraciones de As en aguas naturales usualmente son menores de 10 µg/L. Sin embargo, en zonas mineras pueden encontrarse concentraciones entre 0,2 y 1 g/L. El valor guía por normas internacionales es de 0,05 a 0,01 mg/L.

2.4.2.5. Bario

Elemento altamente tóxico para el hombre; causa trastornos cardíacos, vasculares y nerviosos (aumento de presión arterial). Se considera fatal una dosis de 0,8 a 0,9 gramos como cloruro de bario (de 550 a 600 miligramos de bario). La contaminación del agua por bario puede provenir principalmente de los residuos de perforaciones, de efluentes de refinerías metálicas o de la erosión de depósitos naturales.

Las concentraciones halladas en el agua son, por lo general, muy bajas; varían entre trazas y 0,05 mg/L. Se recomienda un valor permisible de 0,7 mg/L a 1,5 mg/L.

2.4.2.6. Cianuro

Su presencia no es frecuente en aguas naturales pero se considera muy tóxica si se ingiere. La concentración de cianuro en aguas superficiales se debe, por lo general, a su contaminación mediante descargas industriales, en especial de galvanoplastia, plásticos, fertilizantes y minería. La extracción de oro usa cantidades importantes de cianuro en procesos que generan efluentes con estos residuos, la mayor parte de los cuales tienen como destino final los ríos y los lagos.

La toxicidad del cianuro depende de su concentración, el pH y la temperatura, entre otros factores. Se propone un valor $\leq 0,07$ mg/L.

2.4.2.7. Cinc

Las aguas naturales pueden contener cinc en concentraciones bastante bajas. En el agua de suministro, el cinc proviene generalmente del contacto con accesorios y estructuras galvanizadas o de bronce.

El cinc no se considera dañino para la salud humana, sin embargo se recomienda un límite de 5 mg/L.

2.4.2.8. Cloruros

Las aguas superficiales por lo general no contienen cloruros y no son los cloruros sino los sulfatos y los carbonatos los principales responsables de la salinidad. Los límites fijados en el agua por las normas de calidad se sustentan más en el gusto que le imparten al agua que en motivos de salubridad.

2.4.2.9. Cobre

Con frecuencia se encuentra en forma natural en las aguas superficiales, pero en concentraciones menores a un mg/L. En estas concentraciones, el cobre no tiene efectos nocivos para la salud. Las quías de calidad para agua recomiendan 2mg/L.

2.4.2.10. Dureza

La dureza está relacionada con el pH y la alcalinidad; depende de ambos. Corresponde a la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalente de carbonato de calcio, de los cuales los más comunes son los de calcio y los de magnesio.

Un agua dura puede formar depósitos en las tuberías y hasta obstruirlas completamente. Esta característica física es nociva, particularmente en aguas de alimentación de calderas, en las cuales la alta temperatura favorece la formación de sedimentos.

En la salud humana puede causar problemas cardiovasculares además el agua muy dura posee un sabor desagradable, según sus consumidores, para el agua muy blanda, como por ejemplo, el agua destilada o el agua de lluvia, también se reporta un sabor desagradable, que es expresado por mucha gente

como de un sabor jabonoso. Es esencial un mínimo contenido de minerales, de los cuales las sales de calcio y magnesio son las más importantes, para que el agua tenga un sabor agradable y refrescante para el consumidor.

En términos generales, puede considerarse que un agua es blanda cuando tiene dureza menor de 100 mg/L; medianamente dura, cuando tiene de 100 a 200 mg/L; y dura, cuando tiene de 200 a 300 mg/L (en todos los casos, como CaCO_3).

Tabla VIII. **Clasificación de la dureza del agua expresada como ppm de CaCO_3**

Denominación	Ppm CaCO_3
Muy suave	0-15
Suave	16-75
Media	76-150
Dura	150-300
Muy Dura	>300

Fuente: elaboración propia.

La remoción de la dureza en el tratamiento se lleva a cabo mediante la precipitación con cal o mediante el proceso combinado cal-carbonato, conocido como ablandamiento cal-soda. No se establece un límite específico para la dureza en el agua para consumo humano.

2.4.2.11. Fluoruros

Elemento esencial para la nutrición del hombre. Su presencia en el agua de consumo a concentraciones adecuadas combate la formación de caries dental, principalmente en los niños (0,8 a 1,2 mg/L). Un valor guía de 1,5 mg/L es recomendado.

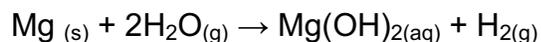
2.4.2.12. Hierro

Es un elemento esencial para el metabolismo de animales y plantas, en aguas superficiales las cantidades en la que se encuentra, por lo general no son tóxicas. Se encuentra como sales y afecta mayormente el sabor. Las aguas destinadas a consumo humano no deben sobrepasar 0,3 mg/L.

2.4.2.13. Magnesio

El magnesio y otros metales alcalinotérreos son responsables de la dureza del agua. El agua que contiene grandes cantidades de iones alcalinotérreos se denomina agua dura, y el agua que contiene bajas concentraciones de estos iones se conoce como agua blanda.

Los metales de magnesio no están afectados por el agua a temperatura ambiente. El magnesio generalmente es un elemento poco reactivo, pero su reactividad aumenta con niveles de oxígeno. Además el magnesio reacciona con el vapor de agua para dar lugar a hidróxido de magnesio y gas hidrógeno:



Los iones magnesio disueltos en el agua forman depósitos en tuberías y calderas cuando el agua es dura, es decir, cuando contiene demasiado magnesio o calcio.

2.4.2.14. Manganeso

Su presencia no es común en el agua, pero cuando se presenta, por lo general está asociado al hierro. Comúnmente se encuentra en el agua bajo su estado reducido, Mn (II), y su exposición al aire y al oxígeno disuelto lo transforma en óxidos hidratados menos solubles. El valor aceptable es de 0,5 mg/L.

2.4.2.15. Mercurio

El mercurio se considera un contaminante no deseable del agua ya que es un metal pesado muy tóxico para el hombre en las formas aguda y crónica. Se ha probado experimentalmente que las resinas de intercambio iónico son efectivas en la remoción de mercurio hasta 98 %, tanto en la forma orgánica como inorgánica. Con las consideraciones anteriores es permisible una máxima consideración de 0,001 mg/L.

2.4.2.16. Nitritos y nitratos

Este componente se encuentra por naturaleza en las aguas ya que es un nutriente importante para el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas. Por lo general, en el agua su forma es como amoníaco, nitratos y nitritos. La OMS establece un valor guía provisional de 50 mg/L como nitratos (N-NO₃) y nitritos 3 mg/L (N-NO₂).

2.4.2.17. Oxígeno disuelto

La presencia de oxígeno disuelto en el agua cruda depende de la temperatura, la presión y la mineralización del agua. La ley de Henry y Dalton dictan que la solubilidad de un gas en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial e inversamente proporcional a la temperatura.

No se establece un límite de oxígeno disuelto ya que puede ser beneficio o impacto negativo. Por lo general, varía respecto a la temperatura y hora del día, aireación y las plantas verdes presentes.

2.4.2.18. Sulfatos

Los sulfatos son un componente natural de las aguas superficiales y, por lo general, en ellas no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad. Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua y constituyen la dureza permanente. El sulfato de magnesio confiere al agua un sabor amargo. Es recomendable que la presencia de sulfatos no exceda 250 mg/L.

2.4.3. Características biológicas

Se presentan las características biológicas del agua.

2.4.3.1. *Escherichia coli* (E. Coli)

Escherichia coli es el principal indicador bacteriano en el agua. Diversos estudios han demostrado que la *E. Coli* está presente debido a contaminación

fecal humano y animal por lo que el agua debe someterse a un tratamiento para consumo humano.

COGUANOR establece para el método de filtración por membrana, un número de colonias del grupo coliforme por muestra normal no mayor a 4 UFC/100 mL, en dos muestras consecutivas, en más de una muestra mensual, cuando se examinan mensualmente menos de 20 muestras, y la ausencia de *E. Coli*.

2.4.3.2. Coliformes totales

Los coliformes totales se reproducen en el ambiente, proporcionan información sobre el proceso de tratamiento y acerca de la calidad sanitaria del agua que ingresa al sistema y de la que circula en el sistema de distribución. No constituyen un indicador de contaminación fecal.

2.5. Instructivo para toma de muestra de agua

Es de suma importancia que la muestra de agua sea homogénea y representativa, y por sobre todo que no se modifiquen las propiedades del agua a analizar.

Para análisis fisicoquímico se requieren 2L de agua en un envase de vidrio o de plástico. Es necesario que el envase se encuentre perfectamente limpio y que su tapa no permita la salida del líquido, ni la entrada de elementos contaminantes.

Para muestras procedentes de río, la toma de muestras debe ser lejos de las costas y a mediana profundidad, evitando hacerlo en sitios afectados por

aportes accidentales de otros cursos y descargas industriales o pluviales. Se debe destapar el recipiente y sumergir a una profundidad de 20 cm lo más rápido posible, tomándolo del cuello. Si hay corriente, la boca del recipiente se orienta en sentido contrario a ella; si no hay corriente el recipiente debe moverse en semicírculo. Una vez lleno levantar y tapar de inmediato⁵.

Es importante que no quede cámara de aire en el envase, se rotule adecuadamente (nombre de muestreador, remitente, fecha de tomas, lugar de procedencia, entre otros) y se envíe a laboratorio. El envío debe ser en el menor tiempo posible transcurrido de la hora de la toma y a temperaturas bajas (4°C preferiblemente)⁶.

2.6. Métodos físicoquímico para análisis de aguas

- Determinación de pH por electrometría (potenciómetro):

La medida se realiza directamente con un potenciómetro. Previamente el potenciómetro debe ser calibrado con patrones de 7,01 y 4,00. Una vez calibrado correctamente el equipo, se toma una muestra en un *beaker* lo suficientemente adecuada para sumersión total del electrodo del pH. La medida de pH aparece directamente en la pantalla del equipo.

- Determinación de turbidez por espectrofotometría:

⁵ *Instructivo para la toma de muestra de agua.* https://www.entrerios.gov.ar/oser/leyes/Instructivo_para_la_Toma_de_Muestra_de_Agua.pdf. Consulta: 25 de septiembre de 2014.

⁶ *Instructivo para la toma de muestra de agua.* https://www.entrerios.gov.ar/oser/leyes/Instructivo_para_la_Toma_de_Muestra_de_Agua.pdf. Consulta: 25 de septiembre de 2014.

Como primer paso para la determinación de turbidez, se calibra el método con una disolución de formacina. A este compuesto se le asignan 400 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT). Para construir la recta de calibrado, en primer lugar hay que preparar una solución 1:10 (40 UNT) de la solución madre de formacina. En matraces aforados de 50 mL se introducen 1,2; 3,5; 5; 6,5; 8 y 9,5 mL de la disolución intermedia (40 UNT) de formacina enrasando con agua destilada. Se homogenizan las suspensiones por agitación suave, y se miden las correspondientes absorbancias a la longitud de onda de 400 nm, empleando un blanco de agua destilada.

Los resultados de las muestras de agua se obtienen por interpolación en la gráfica de calibrado de los valores de absorbancia medidas para la muestra, y se expresan en UNT.

- Determinación de color por colorimetría (absorción a 436 nm):

Cuando el color se determina sin filtrar se denomina color aparente y el color determinado sobre muestras filtradas se conoce como color real. Previamente a la medida de las muestras se tiene que construir una recta de calibrado a partir de la solución de color patrón de 750 mg Platino-cobalto/L. Los patrones de color de 0 a 45 mg Platino-cobalto /L se preparan por dilución en matraces de 100 mL.

Los resultados de las muestras de agua se obtienen por interpolación en la recta de calibrado de los valores de absorbancia medidas para la muestra, y se expresan en mg Platino-cobalto por litro de agua.

- Determinación de conductividad por electrometría (sólidos totales disueltos):

La medida se realiza directamente con el equipo de conductividad eléctrica. Previo a la realización de una serie de mediciones sobre las muestras se ha de realizar un calibrado, frente a patrones de conductividad de 1,413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 12,88 mS/cm . Una vez calibrado correctamente el equipo, se coloca una muestra de agua de 500 mL ó proporción adecuada que permita la inmersión de la celda de conductividad. La medida de conductividad aparece directamente en la pantalla del equipo.

Con el valor de conductividad puede determinarse sólidos totales disueltos mediante la siguiente ecuación:

$$Kc = T$$

[Ec. 1]

Donde:

K = Conductividad expresada en μS

T = Sólidos Disueltos Totales

c = Coeficiente de correlación (establecido a una temperatura standard)

- Determinación de dureza por titulación (método complejometría EDTA):

Tomar una muestra de agua a analizar de 25 mL. A continuación se diluye hasta unos 75 mL finales con agua MQ y se ajusta el pH de la muestra hasta $10 \pm 0,1$ con la adición gota a gota de tampón amónico.

Posteriormente se añaden unas 15 gotas de solución indicadora de negro de eriocromo t (NET). Por último, se añade EDTA desde la bureta hasta que desaparezcan los matices rojizos, dando lugar a una tonalidad azul. La dureza expresada como mg de CaCO₃/L se calcula a través de la siguiente expresión:

$$\text{mg/L CaCO}_3 = (A \times B \times 1000) / V$$

[Ec. 2]

Donde:

A: mL de EDTA -Na₂ gastados en la titulación

B: mg CaCO₃ equivalentes a 1 mL de titulante EDTA (1 para EDTA 0,01 M)

V: mL de muestra empleados en la determinación

- Método DPD para la determinación de cloro libre residual por colorimetría:

La determinación se realiza inmediatamente después de la toma de muestras, evitando en todo momento la exposición a la luz, la agitación y el calor. A 25 mL de muestra se le añade un sobre de reactivo DPD y se determina el cloro libre residual por comparación visual o mediante equipo colorimétrico adecuado. El resultado se expresa como mg/L de Cl₂ libre residual.

- Determinación de cationes Ca, Zn, Cu, Mg, Fe, Mn, Hg, Al, por espectrofotometría de absorción atómica:

Inicialmente la muestra es sometida a un pretratamiento de filtración a través de un filtro con tamaño de poro de 0,45 micras y acidificación hasta pH 2 con HNO₃ supra puro.

El resultado será el contenido en metales, en la fracción disuelta. Previamente habrá que seleccionar el método adecuado para cada uno de los metales (absorción atómica de llama, método de extracción, vapor frío), de acuerdo al parámetro que se quiera determinar y su concentración.

El Ca, Zn, Cu, Mg, Fe y Mn se miden por espectrofotometría de absorción atómica de llama. La determinación directa es una llama de aire-acetileno.

Para la determinación de bajas concentraciones de Al y Be se realiza aspiración en una llama de óxido de nitrosa-acetileno, mientras que la técnica del vapor frío es utilizada para determinar Hg. Cuando se desea determinar el contenido total (es menos frecuente) se deberá realizar una digestión a la muestra de agua. Antes de proceder al análisis de las muestras se tendrá que construir rectas de calibrado para cada uno de los parámetros que se quiera determinar.

2.7. Método microbiológico para análisis de aguas

- Método de filtración por membrana para determinar coliformes totales y *E. Coli*:

El procedimiento consiste en filtrar la muestra de agua a través de una membrana cuadrículada y estéril de 0,45 micras de tamaño de poro en donde quedan retenidas las bacterias fecales. Posteriormente se deposita la membrana en una caja petri que contiene el medio de cultivo adecuado y selectivo al microorganismo que se desea determinar. Pasado el tiempo de incubación adecuado, a la temperatura óptima de crecimiento para cada microorganismo, se efectúa el recuento.

El método consiste en lo siguiente: con unas pinzas estériles se coloca la membrana filtrante sobre la rampa de filtración. A continuación se coloca un embudo estéril en la rampa de filtración al que se añade 100 mL del agua problema. Se abre el dispositivo que permite la filtración y, una vez haya pasado toda la muestra, se lavan las paredes del embudo con agua tamponada estéril. Se retira el embudo y con las pinzas estériles se coge la membrana filtrante depositándola en una caja petri que contenga el medio de cultivo, cuidando de que no queden burbujas entre la membrana y el medio. Por último, se deposita en posición invertida en la estufa de cultivo.

Pasado el tiempo adecuado se procederá al recuento de las colonias sobre la membrana. Para coliformes totales se cuentan todas las colonias de color verde recubiertas de brillo metálico y para *E. Coli* se cuentan las colonias de color azul que hayan crecido sobre la membrana.

El resultado se expresa como unidades formadoras de colonias por 100 mL de muestra (UFC/100mL).

Los medios para análisis de coliformes totales y *E. Coli* se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla IX. **Medio para análisis microbiológico**

	Coliformes totales	<i>E. Coli</i>
Medio de cultivo	m-Endo	cromogénico
Temperatura de incubación	37 °C	37 °C
Tiempo de incubación	24 horas	24 horas

Fuente: elaboración propia.

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables

Se presentan las variables de estudio para la metodología.

3.1.1. Variables dependientes

Tabla X. Definición de variables dependientes

Variable	Dependiente
Caracterización de agua	X

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Variables Independientes

Tabla XI. Definición de variables independientes

Variable	Independiente
Color (U)	X
Olor	X
Sabor	X
pH	X
Temperatura (°C)	X
Turbiedad (UNT)	X

Continuación de la Tabla VI.

Variable	Independiente
Sólidos disueltos (mg/L)	X
Dureza total (mg/L)	X
Cloro residual (mg/L)	X
Calcio (mg/L)	X
Cinc (mg/L)	X
Cobre (mg/L)	X
Magnesio (mg/L)	X
Hierro (mg/L)	X
Aluminio (mg/L)	X
Mercurio (NMP/100mL)	X
<i>E. Coli</i> (NMP/100mL)	X
Coliformes total (NMP/100mL)	X

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudios

La calidad de agua depende de una serie de factores y características que deben comprobarse antes de ser seleccionada como una fuente para distribución de agua potable a una destinada población.

En la presente investigación se analizaron y evaluaron las propiedades de agua superficial proveniente del Río Mopán para la comunidad de San Jorge que utiliza estas aguas para consumo y actividades cotidianas sin consideraciones previas. Se tomaron muestras en puntos estratégicos del río y se trasladaron al laboratorio de Soluciones Analíticas, 14 avenida 19-50,

Condado El Naranjo, zona 4 de Mixco, Guatemala, para realizar pruebas fisicoquímicas y microbiológicas.

Las muestras se transportaron al laboratorio en un tiempo no mayor a 24 horas a temperatura de 4 °C en recipientes adecuados para análisis. El fin fue determinar la calidad del agua y si esta es apta para consumo humano.

3.3. Recursos humanos disponibles

Investigador: Mary Karen Carrillo

Asesor: Ingeniero Qmco. Víctor Manuel Monzón Valdez

Se contó con equipo y personal capacitado del laboratorio para uso de los equipos, materiales y reactivos químicos del laboratorio para llevar a cabo las pruebas.

3.4. Recursos materiales disponibles

Se describen los recursos materiales para el estudio, como la materia prima y reactivos, equipo, material de vidrio, entre otros.

3.4.1. Materia prima y reactivos

- Agua de río
- Fenolftaleína
- Naranja de metilo
- EDTA
- Papel pH

- Agar-agar
- Azul de metileno
- Negro eriocromo T
- Hidróxido de sodio
- Solución amónico tampón (0,3 M, pH = 9)

3.4.2. Material de vidrio

- Termómetros
- Picnómetro
- Buretas
- *Beaker*
- Recipientes esterilizados

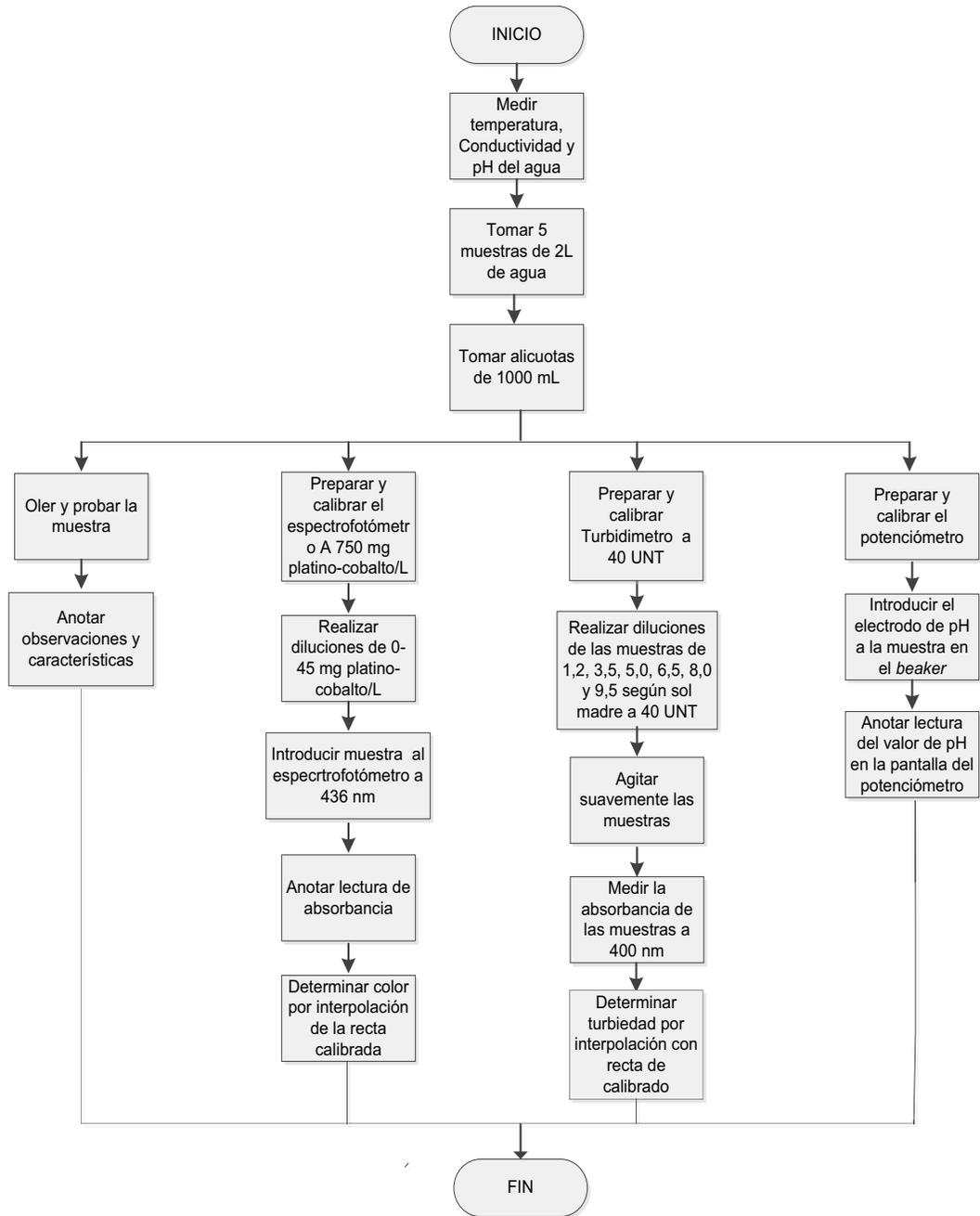
3.4.3. Equipo

- Balanza
- Espectrofotómetro UV visible
- Soporte
- Potenciómetro

3.5. Técnica cualitativa y cuantitativa

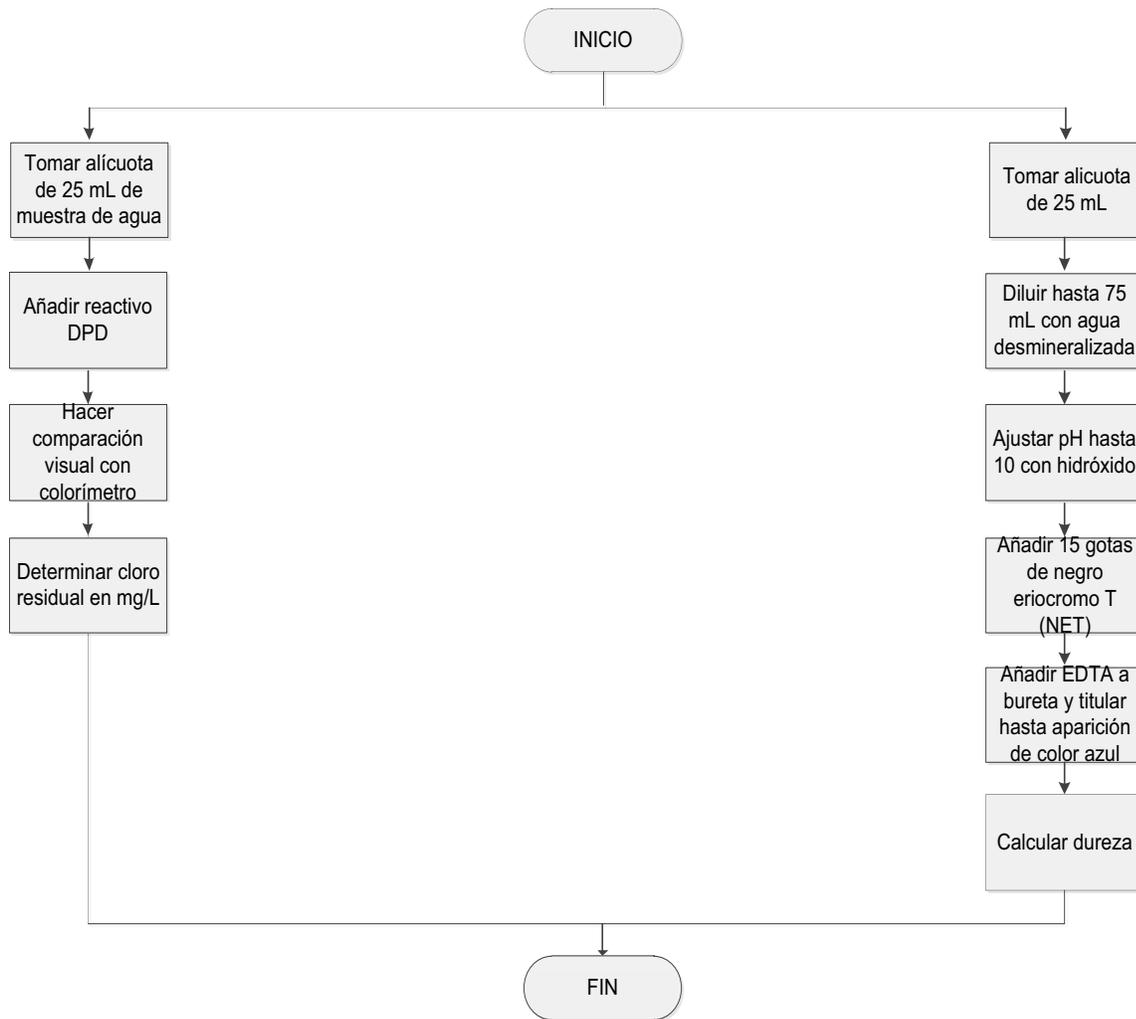
El análisis de las características de la calidad del agua se realizó mediante métodos cualitativos y cuantitativos. El método cualitativo se aplicó para la evaluación física como olor y sabor. Los métodos cuantitativos se aplicaron para análisis físico (turbiedad, color, sólidos totales disueltos) y análisis químico como dureza y presencia de componentes específicos como nitratos, hierro, mercurio, zinc, magnesio, calcio, entre otros.

Figura 4. Diagrama de procedimiento para características física de olor, sabor, color, turbiedad y pH



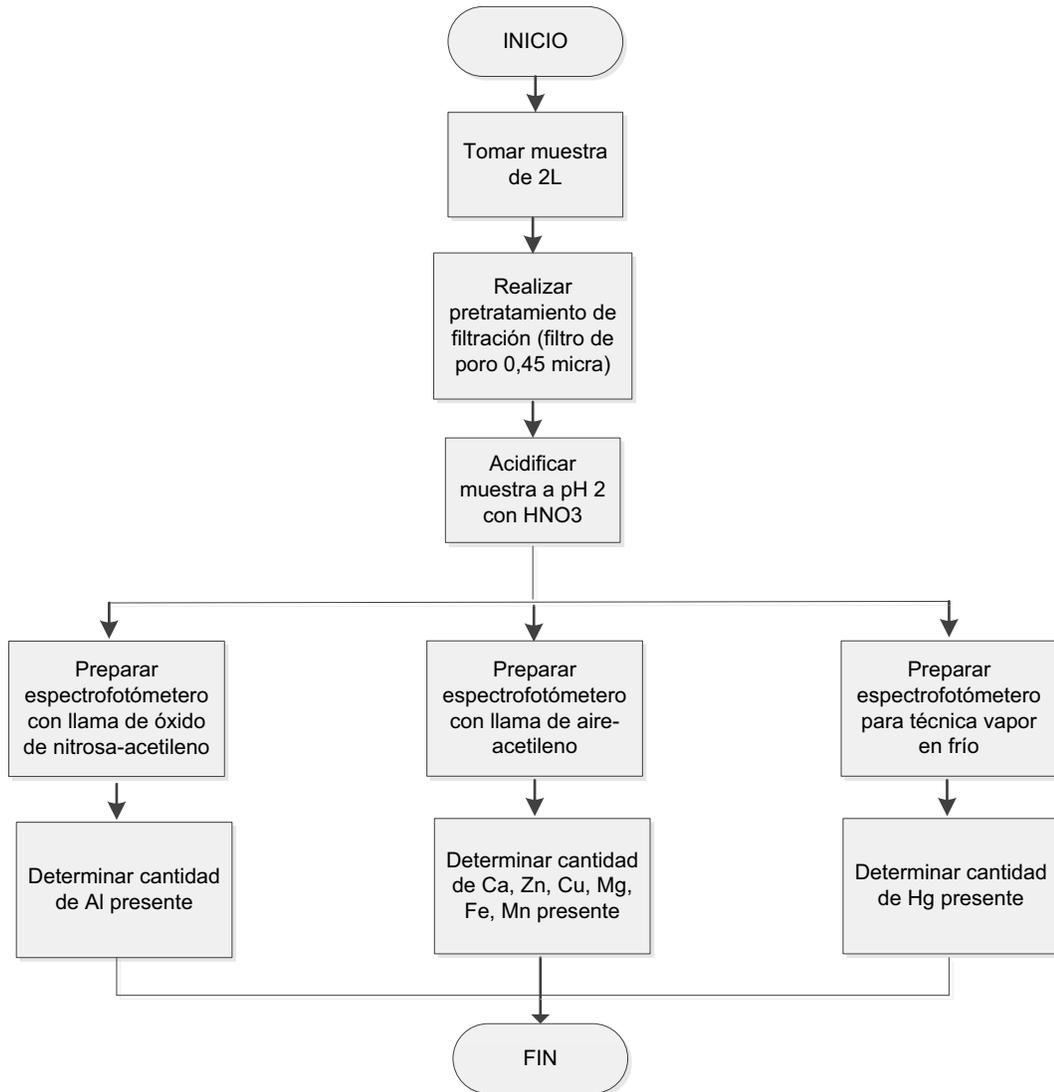
Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Diagrama de procedimiento para determinar cloro residual y dureza del agua



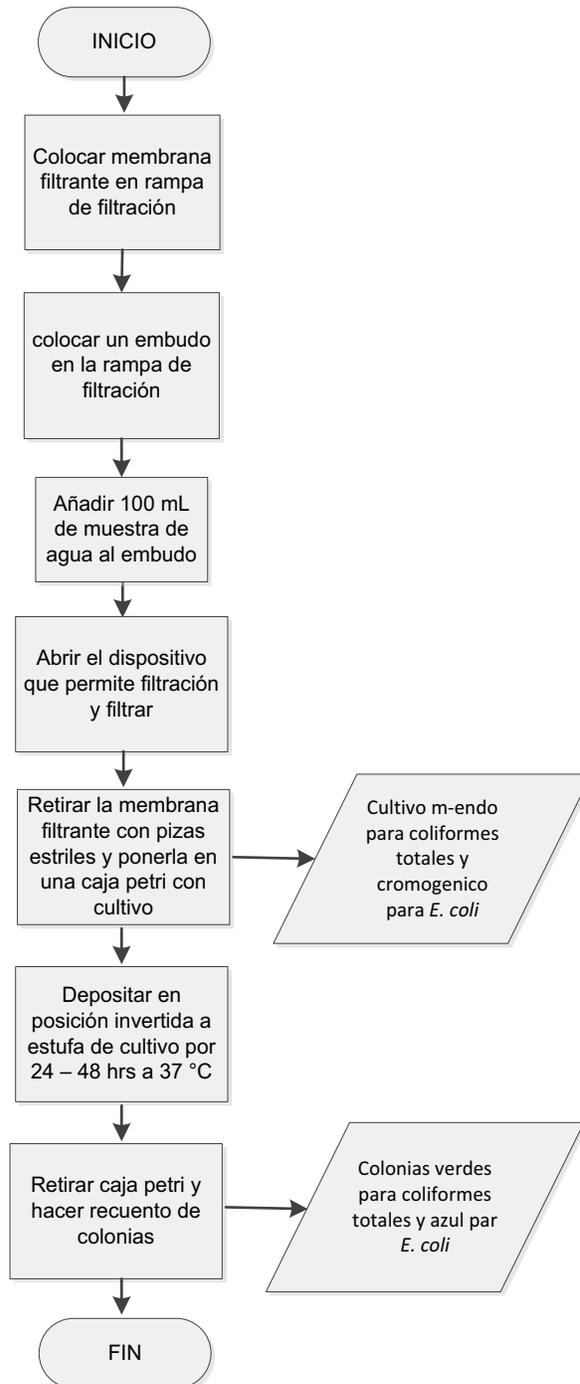
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Diagrama de procedimiento para determinación de Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Al, Mn y Hg



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Diagrama de procedimiento para análisis microbiológico



Fuente: elaboración propia.

3.6. Recolección y ordenamiento de información

Las muestras de agua a analizar se recolectaron en el área y características físicas como olor, conductividad (para calcular sólidos totales disueltos), sabor, temperatura y pH se realizó la medición *in situ*.

Se recolectaron 10 litros de muestra en recipientes esterilizados y fueron transportados al laboratorio en condiciones de 4 °C para que este no cambie su característica.

Se realizaron pruebas para determinar dureza total y constituyentes químicos mayoritarios como carbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, calcio, magnesio, fosfatos, dióxido de carbono, oxígeno, zinc, mercurio, hierro, cianuro y cobre están presentes en el agua y en qué proporción.

Adicionalmente se efectuaron pruebas microbiológicas para determinar la presencia de *Escherichia coli*, bacterias totales y coliformes totales y de esta manera definir si la fuente de agua es utilizable para potabilización, según normas nacionales e internacionales, y la posibilidad de un tratamiento de agua para que sea apta para consumo humano.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Tabla XII. **Tabla de recolección de datos de pruebas realizadas**

Análisis fisicoquímico			
Pruebas	Cantidad presente (mg/L)	Observación	LMP según norma COGUANOR (<, > ó igual)
Olor			
Sabor			
Color			
Turbiedad			
Temperatura			
pH			
Conductividad (STD)			
Calcio			
Magnesio			
Dureza			
Cinc			
Cobre			
Hierro			
Mercurio			
Análisis microbiológico			
Coliformes totales			
Escherichia Coli			

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Los resultados deben ser lo más exactos posible ya que se trata de determinar la calidad del agua para consumo humano y resultados erróneos puede afectar la salud de la población; para ello se calcula cantidad de corridas a realizar con una probabilidad de éxito del 90 %, probabilidad de fracaso de un 10 %, con un nivel de significancia del 4 % y un error estimado del 35 % por lo que se tiene:

$$N = \frac{Z^2 PQ}{E^2}$$

[Ec. 3]

Donde:

Z = Confiabilidad

P = Probabilidad de éxito

Q = Probabilidad de fracaso (1 -P)

E = Error estimado

N = Número de corridas

De la ecuación anterior se obtiene la cantidad de corridas que se realizaron:

$$N = \frac{(1,96)^2 * 0,90 * 0,10}{(0,35)^2}$$

$$N = 2,82 \approx 3$$

También se realizó un cálculo de promedio para obtener datos más exactos con las corridas inicialmente planteadas. El promedio se calculó de la siguiente manera:

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

[Ec. 4]

Donde:

\bar{x} = valor promedio

x_i = valor i

n = número de datos

A partir del promedio también se encuentra la desviación estándar (S) que permite observar la dispersión entre valores para una misma medición respecto al promedio. El cálculo de la desviación estándar se representa por:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

[Ec. 5]

Donde:

\bar{x} = valor promedio

x_i = valor i

n = número de datos

S = desviación estándar

Por último, se aplica la técnica de análisis de varianza (ANOVA); es la técnica más utilizada para análisis de datos experimentales que contienen más de dos medias para contrastar.

En la práctica se suele utilizar la tabla de organización de datos y la tabla de análisis de varianza representada por lo siguiente:

Tabla XIII. Organización de los datos del análisis de varianza

	Tratamientos			
Repeticiones	1	2	3	
1	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	
2	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	
3	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	
Total	Y_{1^*}	Y_{2^*}	Y_{3^*}	T^{**}

Fuente: WALPOLE, Ronald E.; MYERS, Raymond H.; MYERS, Sharon L. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. p. 506.

Tabla XIV. Tabla de resultados del análisis de varianza

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculada	F Tabulada
Tratamientos	$k - 1$	SSA	$S_1^2 = \frac{SSA}{k - 1}$	$F = \frac{S_1^2}{S^2}$	$F_\alpha(v_1, v_2)$
Error	$k(n - 1)$	SSE	$S^2 = \frac{SSE}{k(n - 1)}$		
Total	$nk - 1$	SST			

Fuente: WALPOLE, Ronald E.; MYERS, Raymond H.; MYERS, Sharon L. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. p. 508.

Regla de decisión:

Si F calculada $>$ F tabulada se rechaza H_0

Si F calculada $<$ F tabulada se acepta H_0

El siguiente es un ejemplo del ANOVA correspondiente al análisis de color para agua analizada en este estudio:

Tabla XV. **Tabla de datos para organizar análisis de varianza**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Diciembre	3,00	2,40	0,80	0,0025
Enero	3,00	2,70	0,90	0,0175
Febrero	3,00	2,90	0,96	0,0008
Marzo	3,00	3,50	1,16	0,031

Fuente: WALPOLE, Ronald E.; MYERS, Raymond H.; MYERS, Sharon L. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. p. 510.

Tabla XVI. **Tabla de resultado del análisis de varianza para toma de decisión**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada
Tratamientos	3,00	0,21	0,07	3,56	4,06
Error	8,00	0,10	0,01		
Total	11,00	0,31			

Fuente: WALPOLE, Ronald E.; MYERS, Raymond H.; MYERS, Sharon L. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. p. 512.

3.9. Plan de análisis de resultados

Se describe en plan de análisis en el cual se expone los métodos y modelos según el tipo de variables.

3.9.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

Método de titulación: volumen gastado y cálculos según sea el caso.

Método espectrofotómetro: dato digital de lectura.

3.9.2. Programas a utilizar para análisis de datos

Microsoft Excel 2010: hoja de cálculo electrónica para facilitar operaciones matemáticas.

Microsoft Visio 2010: *Software* utilizado para facilitar la elaboración de diagramas de flujo.

4. RESULTADOS

Tabla XVII. **Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, diciembre 2014**

Prueba	Cantidad presente			\bar{x}	LMP de norma COGUANOR	% Cumplimiento COGUANOR NGO 29 001
	X_1	X_2	X_3			
Olor	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable	100
Sabor	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	100
Color (U)	0,85	0,80	0,75	0,80	35,00	100
Turbiedad (UNT)	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	15,00	100
Temperatura (°C)	22,50	23,00	23,00	22,83	34,00	100
pH	7,50	7,45	7,50	7,48	6,5 – 8,5	100
Conductividad (STD)	1,35	1,20	1,50	1,35	750,00	100
Dureza	245,00	243,00	245,50	244,50	500,00	100
Calcio	65,00	63,00	68,50	65,50	150,00	100
Cloruro	4,50	3,50	4,00	4,00	250,00	100
Magnesio	22,50	20,00	20,00	20,83	100,00	100
Manganeso	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,500	100

Continuación de la tabla XVII.

Prueba	Cantidad presente			\bar{x}	LMP de norma COGUANOR	% Cumplimiento COGUANOR NGO 29 001
	X_1	X_2	X_3			
Aluminio	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,100	100
Boro	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	0,300	100
Cinc	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	70,00	100
Nitrato (NO ₃)	2,00	1,95	2,20	2,05	10,00	100
Nitritos (NO ₂)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,00	100
Sulfato (SO ₄)	12,00	10,00	12,00	11,33	250,00	100
Cobre	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	1,50	100
Hierro	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	1,00	100
Mercurio	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,001	100
Análisis microbiológico						
Coliformes totales	>20	>20	>20	>20	No detectable	0,00
Coliformes fecales	6,0	6,0	6,0	6,0	No detectable	0,00
<i>Escherichia Coli</i>	6,0	6,0	6,0	6,0	No detectable	0,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, enero 2015**

Prueba	Cantidad presente			\bar{x}	LMP de norma COGUANOR	% Cumplimiento COGUANOR NGO 29 001
	X_1	X_2	X_3			
Olor	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable	100
Sabor	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	100
Color (U)	0,75	0,95	1,00	0,90	35,00	100
Turbiedad (UNT)	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	15,00	100
Temperatura (°C)	21,00	23,00	21,00	21,67	34,00	100
pH (1)	6,85	7,00	7,15	7,00	6,5 – 8,5	100
Conductividad (STD) (2)	0,85	0,89	0,90	0,88	750,00	100
Dureza	235,00	234,00	235,00	234,67	500,00	100
Calcio	58,00	58,50	68,50	61,67	150,00	100
Cloruro	3,30	5,50	4,93	4,58	250,00	100
Magnesio	21,50	21,50	20,00	21,00	100,00	100
Manganeso	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,500	100
Aluminio	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,100	100
Boro	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	0,300	100
Cinc	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	70,00	100
Nitrato (NO ₃)	1,35	1,75	1,30	1,47	10,00	100
Nitritos (NO ₂)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,00	100
Sulfato (SO ₄)	12,00	10,00	12,00	11,33	250,00	100
Cobre	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	1,50	100

Continuación de la tabla XVIII.

Prueba	Cantidad presente			\bar{x}	LMP de norma COGUANOR	% Cumpliment o COGUANOR NGO 29 001
	X_1	X_2	X_3			
Hierro	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	1,00	100
Mercurio	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,001	100
Análisis microbiológico						
Coliformes totales	>20	>20	>20	>20	No detectable	0,00
Coliformes fecales	6,0	6,0	6,0	6,0	No detectable	0,00
<i>Escherichia Coli</i>	6,0	6,0	6,0	6,0	No detectable	0,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, febrero 2015**

Prueba	Cantidad			\bar{x}	LMP de norma COGUANOR	% Cumplimiento COGUANOR NGO 29 001
	X_1	X_2	X_3			
Olor	No rechazable	100				
Sabor	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	100
Color (U)	0,95	1	0,95	0,97	35,00	100
Turbiedad (UNT)	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	15,00	100
Temperatura (°C)	23,50	23,00	23,00	23,17	34,00	100

Continuación tabla XIX.

Prueba	Cantidad			\bar{x}	LMP de norma COGUANOR	% Cumplimiento COGUANOR NGO 29 001
	X_1	X_2	X_3			
pH (1)	7,48	7,50	7,00	7,33	6,5 – 8,5	100
Conductividad (STD) (2)	0,95	0,89	0,90	0,91	750,00	100
Dureza	248,00	252,00	248,00	249,33	500,00	100
Calcio	66,50	71,00	68,50	68,67	150,00	100
Cloruro	3,30	5,50	4,93	4,58	250,00	100
Magnesio	23,50	21,50	25,00	23,33	100,00	100
Manganeso	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,500	100
Aluminio	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,100	100
Boro	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	0,300	100
Cinc	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	70,00	100
Nitrato (NO ₃)	1,95	2,45	2,75	2,38	10,00	100
Nitritos (NO ₂)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,00	100
Sulfato (SO ₄)	8,75	15,35	9,00	11,03	250,00	100
Cobre	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	1,50	100
Hierro	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	1,00	100
Mercurio	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,001	100
Análisis microbiológico						
Coliformes totales	>25	>25	>25	>25	No detectable	0,00
Coliformes fecales	7,5	7,5	7,5	7,5	No detectable	0,00
<i>Escherichia Coli</i>	7,5	7,5	7,5	7,5	No detectable	0,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, marzo 2015**

Prueba	Cantidad			\bar{x}	LMP de norma COGUANOR	% Cumplimiento COGUANOR NGO 29 001
	X_1	X_2	X_3			
Olor	No rechazable	100				
Sabor	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	100
Color (U)	1,00	1,35	1,15	1,17	35,00	100
Turbiedad (UNT)	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	15,00	100
Temperatura (°C)	24,50	23,00	24,00	23,83	34,00	100
pH (1)	7,80	7,50	7,75	7,68	6,5 – 8,5	100
Conductividad (STD) (2)	0,44	0,45	0,47	0,45	750,00	100
Dureza	247,10	253,00	249,50	249,87	500,00	100
Calcio	66,56	71,00	68,50	68,69	150,00	100
Cloruro	5,60	5,49	4,93	5,34	250,00	100
Magnesio	19,61	21,50	19,50	20,20	100,00	100
Manganeso	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,500	100
Aluminio	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,100	100
Boro	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	0,300	100
Cinc	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	70,00	100
Nitrato (NO ₃)	2,10	2,15	2,10	2,12	10,00	100

Continuación tabla XX.

Prueba	Cantidad			\bar{x}	LMP de norma COGUANOR	% Cumplimiento COGUANOR NGO 29 001
	X_1	X_2	X_3			
Nitritos (NO ₂)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,00	100
Sulfato (SO ₄)	11,00	11,05	10,95	11,00	250,00	100
Cobre	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	1,50	100
Hierro	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	1,00	100
Mercurio	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,001	100
Análisis microbiológico						
Coliformes totales	>23	>23	>23	>23	No detectable	0,00
Coliformes fecales	6,9	6,9	6,9	6,9	No detectable	0,00
<i>Escherichia Coli</i>	6,9	6,9	6,9	6,9	No detectable	0,00

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos indican que las muestras de agua cumplen las especificaciones fisicoquímicas establecidas por la norma COGUANOR NGO 29 001, sin embargo no cumple con las regulaciones bacteriológicas por lo que el agua del Río Mopán no es apta para consumo humano.

5.1. Determinación de la calidad del agua para consumo humano

La determinación de la calidad de agua para consumo humano se definió por comparación de los resultados de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos para muestras de agua del Río Mopán con las normas establecidas por COGUANOR NGO 29 001, los cuales se encuentran en la sección de resultados (tablas XVII-XX) y anexos.

5.1.1. Análisis físico

El resultado del análisis físico demostró que el agua proveniente del Río Mopán es aceptable ya que su olor y sabor son no rechazables. Además, la turbiedad del agua en promedio es menor a 7,00 UNT, un valor por debajo del Límite Máximo Permisible (LMP) que es de 15,00.

Un análisis de color proporcionó un promedio de 2,35 u, ningún valor excede el LMA de 5,0 u ni el LMP de 35,0 u. Los valores obtenidos son el resultado de un monitoreo de cuatro meses (diciembre a marzo) e indican que para los parámetros físicos el agua cumple en su totalidad con la norma COGUANOR NGO 29 001.

5.1.2. Análisis químico

Los parámetros químicos están dados por las siguientes propiedades: pH, conductividad, dureza, nitrato, nitritos, calcio, magnesio, sulfato, manganeso, hierro, cobre, zinc, mercurio.

La conductividad es la propiedad que indica la facilidad de conducir una corriente eléctrica y está relacionado con los sólidos totales disueltos. El valor promedio de conductividad es de 0,44 mS/cm equivalente a 440,00 μ S/cm, un valor que no sobrepasa el LMA de 750,00 μ S/cm establecido por la norma.

Otro parámetro analizado fue el pH, el valor de pH en algunos meses fue menor o mayor que otros, valores por encima del LMA pero debajo del LMP. El valor promedio de pH corresponde a 7,93 que difiere en 5,73 % al LMA que es de 7,00 a 7,50. El potencial de hidrógeno (pH) determina la basicidad o acidez, es un factor influyente en algunos fenómenos que ocurre en el agua, como la corrosión, incrustaciones en los procesos de tratamientos de agua, por lo que el rango aceptable por la norma COGUANOR 29 001 es de pH entre 5 y 9.

Las sustancias químicas como cloruro, nitratos, nitritos y sulfatos son sustancias no deseables en el agua. Para todas las muestras la existencia de estas sustancias se encuentra por debajo de LMA, como se observa en las tablas XI - XIV, valores promedios de 5,60, 2,10, <0,01 y 11,00 respectivamente.

La concentración de calcio y magnesio expresados en mg/L es 67,01 y 17,56 en promedio, respectivamente. La presencia de estas sustancias también está dentro de los rangos de LMA y LMP según la norma. Por otro lado, la dureza del agua está por encima del LMA (100,00 mg/L como CaCO_3) con un

valor de 254,30 mg/L expresado como CaCO_3 , considerándose esta agua dura; un agua dura generalmente es de sabor desagradable para sus consumidores.

Adicionalmente, se encuentran trazas de sustancias químicas como boro, cobre, manganeso, hierro y zinc. La presencia de manganeso generalmente conlleva la presencia de hierro y normalmente no se presentan en exceso en cuerpos de agua si no es por contaminación de alguna planta de manejo de hierro. Cinc, cobre y boro no son dañinos para la salud ya que están presentes por naturaleza en el agua y en el cuerpo humano.

Por último para análisis químico se utilizó el método de absorción atómica con vapor en frío para detectar la presencia de aluminio y mercurio. La proporción presente es $<0,002$ y $<0,0005$ mg/L respectivamente; aluminio no presente daño mientras que mercurio es un metal pesado y altamente tóxico, por lo que no debe estar presente en el agua en valor mayor a 0,001 mg/L.

5.1.3. Análisis microbiológico

Se puede apreciar de las Tablas XVI-XX que el factor bacteriológico más importante, *E. Coli*, está presente en una proporción de 6,90 NMP/100 mL, siendo el valor permitido $<1,10$ por lo que es un indicativo de contaminación del agua.

Durante los meses de monitoreo (diciembre a marzo) en ninguna de ellas se mostró un resultado microbiológico satisfactorio ya que hubo presencia de bacterias aerobias, coliformes fecales y totales, por encima del valor permitido.

5.1.4. Análisis estadísticos

El análisis estadístico demostró que los datos tienen una desviación estándar de 0,01-3,75 unidades como se muestra en la sección de Datos Calculados del Apéndice 3.

Adicionalmente se realizó un análisis de varianza (ANOVA), Apéndice 8, donde se puede detectar que en promedio, para los cuatro meses de análisis, los parámetros microbiológicos y físicos como pH, conductividad y dureza no cumplen con la norma COGUANOR NGO 29 001. En general se puede decir que un análisis fisicoquímico y microbiológico puede validar la calidad del agua.

Un estudio que abarca los resultados de los meses individual y promedio global, concluye que el agua cumple con la calidad de parámetros fisicoquímicos en su totalidad, según los valores de los límites máximo aceptable y permisible; sin embargo, no cumple con la norma COGUANOR NGO 29 001 para parámetros microbiológico.

CONCLUSIONES

1. La caracterización física de las muestras de agua del Río Mopán indican que el agua es no rechazable según el olor y sabor; el color y turbiedad proporciona un resultado promedio de 2,35 u y 7,00 UNT respectivamente, valores por debajo de límite máximo permisible, cumpliendo en su totalidad con la norma COGUANOR NGO 29 001.
2. El agua del Río Mopán cumple los parámetros químicos de Imp establecidos por la norma COGUANOR NGO 29 001 respecto a conductividad, nitrito, nitratos, sulfatos, calcio, magnesio, manganeso, boro, cobre y cloro (ver tablas xvii-xx).
3. Las propiedades de ph y dureza tienen valores promedios mayor que el Imp pero menor al lma establecido por la norma COGUANOR NGO 29 001 de 7,93 y 254,30 mg/l (expresado como mg/l de CaCO₃) respectivamente; el agua se considera agua dura.
4. El agua muestra trazas de metales como hierro, aluminio, zinc y mercurio con valores menores a 0,06, 0,002, 0,02 y 0,0005 ppm respectivamente, todos los valores dentro del Imp.
5. Las pruebas microbiológicas muestran la presencia de coliformes fecales (*E. Coli*), coliformes totales y bacterias aerobias, por lo que no cumple con el inciso 5.4 numeral e2 de la norma COGUANOR NGO 29 001.

6. El agua del Río Mopán cumple con todos los requisitos fisicoquímicos establecidos por la norma COGUANOR NGO 29 001, sin embargo no cumple en el aspecto microbiológico, por lo que no es apto para consumo humano.

7. El agua del Río Mopán podría hacerse utilizable como agua potable si se implementa un tratamiento previo a la distribución de cloración y ultravioleta que pueda eliminar bacterias, coliformes fecales y totales.

RECOMENDACIONES

1. Implementar un sistema de desinfección simple con cloro para reducir y/o eliminar la presencia de organismos patógenos que puedan causar daño a la salud humana.
2. Elaborar estudios para implementar una planta de tratamiento de agua para mejorar las condiciones del agua y así cumplir con las normas establecidas de agua potable.
3. Implementar un sistema de monitoreo continuo de la calidad del agua, antes y después de distribución de esta para uso potable.
4. Educar a la población en general sobre los riesgos que conlleva el consumo del agua del río sin un tratamiento debido.
5. Evaluar la calidad y caudal del agua del Río Mopán en cada época del año.

BIBLIOGRAFÍA

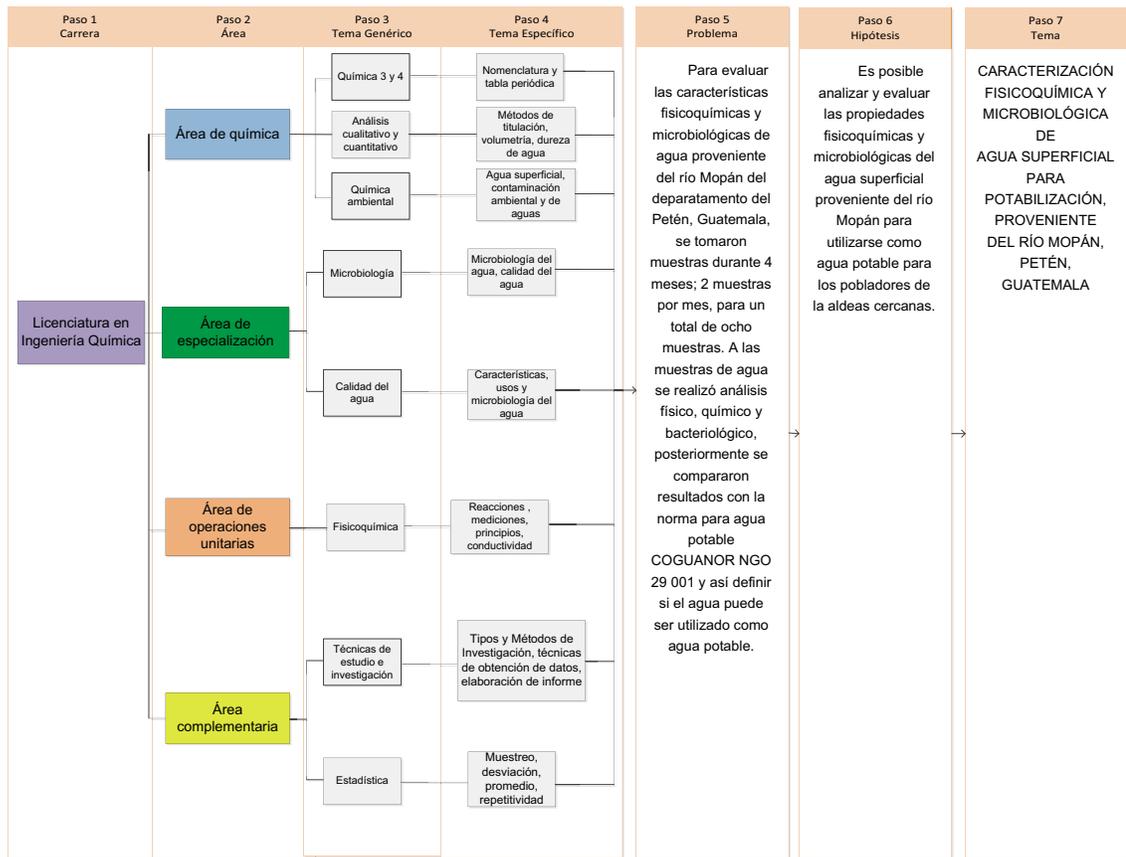
1. American Water Works Association. *Agua y su calidad de tratamiento*. UTEHA. México, D.F. 1968.
2. BRAVATTI CASTRO, Edgar José Aurelio. *Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en la ciudad de San Pedro Carchá departamento de Alta Verapaz*. Tesis Ing. Qco. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1982. 70 p.
3. CARBONELL LARA, Juan Fernando. *Evaluación de la calidad del agua del río el Zapote y sus posibles usos*. Tesis Ing. Qco. Sanitario. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1995. 189 p.
4. CIFUENTES HIDALGO, Milton Lisandro. *Determinación de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, para evaluar la calidad del agua para consumo humano y su uso industrial en la población de Nuevo San Carlos Retalhuleu*. Tesis Ing. Qco. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1985. 80p.
5. HACH COMPANY. *Manual de análisis de agua*. 2a ed. en español. EE.UU. 2000. 124 p.

6. HENRY, J. GLynn y HEINKE, W. Gary. *Ingeniería Ambiental*. 2a ed. México. Prentice-Hall, 2010. 661 p.
7. *Instructivo para la toma de muestra de agua*. <https://www.entrieros.gov.ar/oser/leyes/Instructivo_para_la_Toma_de_Muestra_de_Agua.pdf>. [Consulta 25 de septiembre de 2014].
8. MILLER, J.C. y MILLER, J.N. *Estadística para química analítica*. 2a ed. Addison Wesley Iberoamericana, EE.UU. 1992. 588 p.
9. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. *Norma COGUANOR NGO 29 001:98*. Cartilla Ambiental 9. Departamento de regulación de los programas de la salud y ambiente. Guatemala, 2004.
10. MONTGOERY, Douglas C. y HINES William W. *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Administración*. 3a ed. México, Continental, 1994. 834 p.
11. Organización Mundial de la Salud. *Normas Internacionales para el agua potable*. 3a ed. Ginebra 2003.
12. Organización Mundial de la Salud. *Guidelines for Drinking Water*. 3a ed. Ginebra 2003.
13. Organización Panamericana de la salud & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias de Ambiente. *Manual de tratamiento de agua*. Vargas Lidia. Lima, 2004. OPS/CEPIS/PUB/04.109.

14. PELCZAR, Michael J. y otros. *Microbiología*. 4a ed. México. Editorial McGraw-Hill. 1998. 826 p.
15. SARABIA CASTILLO, Adriana, BAYTER OSORIO, Yudis y MÁRQUEZ VENCE, Liliana. *Evaluación de la calidad microbiológica y fisicoquímica de agua subterráneas en los municipios de la paz y san diego, Cesar*. Tesis microbiología agroindustrial, Colombia. Universidad Popular del Cesar, Facultad de Ciencias de Salud. 2009. 322 p.
16. TOVAR NAVA, Gerardo y VARGAS Armando. Manual de Instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio. Bogotá D.C. 2011. 246 p.
17. WALPOLE, Ronald, E.; MYERS, Raymond H, y MYERS, Sharon L. Probabilidad y Estadística Para Ingenieros. 9a ed. Pearson, 2012. 754 p.

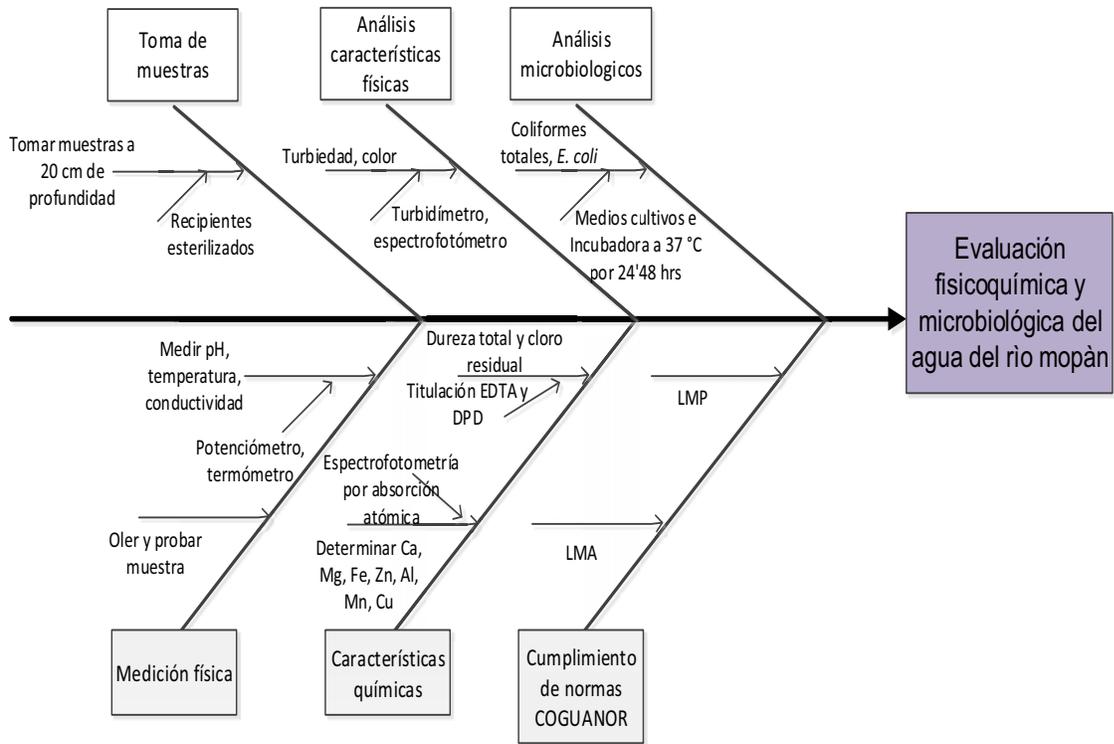
APÉNDICE

Apéndice 1. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Datos promedios y desviación estándar para análisis físicoquímico y microbiológico, diciembre 2014**

Prueba	Medición			\bar{x}	σ
	X_1	X_2	X_3		
Olor	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable	–
Sabor	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	–
Color (U)	0,85	0,80	0,75	0,80	0,05
Turbiedad (UNT)	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	0,00
Temperatura (°C)	22,50	23,00	23,00	22,83	0,28
pH	7,50	7,45	7,50	7,48	0,02
Conductividad (STD) (mS/cm)	1,35	1,20	1,50	1,35	0,15
Dureza (mg/L)	245,00	243,00	245,50	244,50	1,32
Calcio (mg/L)	65,00	63,00	68,50	65,50	2,78
Cloruro (mg/L)	4,50	3,50	4,00	4,00	0,50
Magnesio (mg/L)	22,50	20,00	20,00	20,83	1,44
Manganeso (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,00
Aluminio(mg/L)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,00
Boro (mg/L)	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	0,00
Cinc (mg/L)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,00
Nitrato (NO ₃) (mg/L)	2,00	1,95	2,20	2,05	0,13
Nitritos (NO ₂) (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,00

Continuación del apéndice 3.

Prueba	Medición			\bar{x}	σ
	X_1	X_2	X_3		
Sulfato (SO ₄) (mg/L)	12,00	10,00	12,00	11,33	1,15
Cobre (mg/L)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,00
Hierro (mg/L)	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	0,00
Mercurio (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,00
Análisis microbiológico					
Coliformes totales (NMP/100mL)	>20	>20	>20	>20	0,00
Coliformes fecales (NMP/100mL)	6,0	6,0	6,0	6,0	0,00
<i>Escherichia</i> <i>Coli</i> (NMP/100mL)	6,0	6,0	6,0	6,0	0,00

Fuente: resultados de las tablas XVII – XX, elaboración propia.

Apéndice 4. **Datos promedios y desviación estándar para análisis físicoquímico y microbiológico, enero 2015**

Prueba	Cantidad presente			\bar{x}	σ
	X_1	X_2	X_3		
Olor	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable	–
Sabor	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	–
Color (U)	0,75	0,95	1,00	0,90	0,13
Turbiedad (UNT)	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	0,00
Temperatura (°C)	21,00	23,00	21,00	21,67	1,15
pH	6,85	7,00	7,15	7,00	0,15
Conductividad (mS/cm)	0,85	0,89	0,90	0,88	0,026
Dureza (mg/L)	235,00	234,00	235,00	234,67	0,57
Calcio (mg/L)	58,00	58,50	68,50	61,67	5,92
Cloruro (mg/L)	3,30	5,50	4,93	4,58	1,14
Magnesio (mg/L)	21,50	21,50	20,00	21,00	0,86
Manganeso (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,00
Aluminio (mg/L)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,00
Boro (mg/L)	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	0,00
Cinc (mg/L)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,00
Nitrato (NO ₃) (mg/L)	1,35	1,75	1,30	1,47	0,24
Nitritos (NO ₂) (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,00
Sulfato (SO ₄) (mg/L)	12,00	10,00	12,00	11,33	1,15
Cobre (mg/L)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,00
Hierro (mg/L)	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	0,00

Continuación del apéndice 4.

Prueba	Cantidad presente			\bar{x}	σ
	X_1	X_2	X_3		
Mercurio (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,00
Análisis microbiológico					
Coliformes totales (NMP/100mL)	>20	>20	>20	>20	0,00
Coliformes fecales (NMP/100mL)	6,0	6,0	6,0	6,0	0,00
<i>Escherichia Coli</i> (NMP/100mL)	6,0	6,0	6,0	6,0	0,00

Fuente: resultados de las tablas XVII – XX, elaboración propia.

Apéndice 5. **Datos promedios y desviación estándar para análisis físicoquímico y microbiológico, febrero 2015**

Prueba	Cantidad			\bar{x}	σ
	X_1	X_2	X_3		
Olor	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable	–
Sabor	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	–
Color (U)	0,95	1,00	0,95	0,97	0,02
Turbiedad (UNT)	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	0,00
Temperatura (°C)	23,50	23,00	23,00	23,17	0,28
pH	7,48	7,50	7,00	7,33	0,28
Conductividad (STD) (mS/cm)	0,95	0,89	0,90	0,91	0,03
Dureza (mg/L)	248,00	252,00	248,00	249,33	2,30
Calcio (mg/L)	66,50	71,00	68,50	68,67	2,25
Cloruro (mg/L)	3,30	5,50	4,93	4,58	1,14
Magnesio (mg/L)	23,50	21,50	25,00	23,33	1,75
Manganeso (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,00
Aluminio (mg/L)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,00
Boro (mg/L)	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	0,00
Cinc (mg/L)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,00
Nitrato (NO ₃)	1,95	2,45	2,75	2,38	0,73
Nitritos (NO ₂)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,00
Sulfato (SO ₄)	8,75	15,35	9,00	11,03	3,74
Cobre (mg/L)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,00
Hierro (mg/L)	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	0,00

Continuación del apéndice 5.

Prueba	Cantidad			\bar{x}	σ
	X_1	X_2	X_3		
Mercurio (mg/L)	<0,00 05	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,00
Análisis microbiológico					
Coliformes totales (NMP/100mL)	>25	>25	>25	>25	0,00
Coliformes fecales (NMP/100mL)	7,5	7,5	7,5	7,5	0,00
<i>Escherichia Coli</i> (NMP/100mL)	7,5	7,5	7,5	7,5	0,00

Fuente: resultados de las tablas XVII – XX, elaboración propia.

Apéndice 6. **Datos promedios y desviación estándar para análisis físicoquímico y microbiológico, marzo 2015**

Prueba	Cantidad			\bar{x}	σ
	X_1	X_2	X_3		
Olor	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable	–
Sabor	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	–
Color (U)	1,00	1,35	1,15	1,17	0,17
Turbiedad (UNT)	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	0,00
Temperatura (°C)	24,50	23,00	24,00	23,83	6,37
pH	7,80	7,50	7,75	7,68	0,16
Conductividad (STD) (mS/cm)	0,44	0,45	0,47	0,45	0,015
Dureza (mg/L)	247,10	253,00	249,50	249,87	2,96
Calcio(mg/L)	66,56	71,00	68,50	68,69	2,22
Cloruro (mg/L)	5,60	5,49	4,93	5,34	0,35
Magnesio	19,61	21,50	19,50	20,20	1,12
Manganeso (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,00
Aluminio (mg/L)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,00
Boro (mg/L)	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	0,00
Cinc (mg/L)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,00
Nitrato (NO ₃) (mg/L)	2,10	2,15	2,10	2,12	0,02
Nitritos (NO ₂) (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,00
Sulfato (SO ₄) (mg/L)	11,00	11,05	10,95	11,00	0,05
Cobre (mg/L)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,00

Continuación del apéndice 6.

Prueba	Cantidad			\bar{x}	σ
	x_1	x_2	x_3		
Hierro (mg/L)	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	0,00
Mercurio (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,00
Análisis microbiológico					
Coliformes totales (NMP/100mL)	>23	>23	>23	>23	0,00
Coliformes fecales (NMP/100mL)	6,9	6,9	6,9	6,9	0,00
<i>Escherichia Coli</i> (NMP/100mL)	6,9	6,9	6,9	6,9	0,00

Fuente: resultados de las tablas XVII – XX, elaboración propia.

Apéndice 7. **Análisis de varianza para resultados fisicoquímicos y microbiológicos**

Análisis fisicoquímico			Conclusión de hipótesis
Prueba	F experimental	F crítico	
Color (U)	3,56	4,066	Es posible realizar una caracterización fisicoquímica y microbiológica para determinar la calidad de agua además de la presencia de metales pesados como Al, Zn, Fe y Hg para una muestra de agua del Río Mopán. Esto se cumple con un nivel de significancia de 0,05.
Temperatura (°C)	1,63	4,066	
pH	7,72	4,066	
Conductividad (STD) (ms/cm)	65,81	4,066	
Dureza (mg/L)	36,70	4,066	
Calcio (mg/L)	2,51	4,066	
Cloruro(mg/L)	1,21	4,066	
Magnesio (mg/L)	3,14	4,066	
Nitrato (NO ₃) (mg/L)	2,09	4,066	
Sulfato (SO ₄) (mg/L)	0,02	4,066	
Análisis microbiológico			
Coliformes fecales (NMP/100mL)	5,47	4,066	
<i>Escherichia Coli</i> (NMP/100mL)	5,47	4,066	

Fuente: apéndice 3, 4, 5 y 6, elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Norma para agua potable COGUANOR NGO 29 001

- Parámetros químicos para agua potable

Características	LMA	LMP
Cloro residual libre	0,50 mg/L	1,00 mg/L
Cloruro (Cl ⁻)	100,00 mg/L	250,00 mg/L
Dureza total (CaCO ₃)	100,000 mg/L	500,00 mg/L
Potencial de hidrógeno (1)	7,00-7,50	6,50-8,50
Sólidos totales disueltos	500,00 mg/L	1000,00 mg/L
Sulfato (SO ₄ ⁻)	100,00 mg/L	250,00 mg/L
Temperatura	15,00 °C-25,00°C	34,00 °C
Aluminio (Al)	0,050 mg/L	0,10 mg/L
Calcio (Ca)	75,00 mg/L	150,00 mg/L
Cinc (Zn)	3,00 mg/L	70,00 mg/L
Cobre (Cu)	0,050 mg/L	1,50 mg/L
Magnesio	50,00 mg/L	100,00 mg/L
(1) Unidades de pH		

Fuente: Normas COGUANOR.

Continuación del anexo 1.

- Parámetros físicos para agua potable

Características	LMA	LMP
Color (4)	5,00 u	35,00 u (1)
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad (3)	5,00 UNT	15,00 UNT (2)
Conductividad eléctrica	100,00 $\mu\text{S/cm}$	750,00 $\mu\text{S/cm}$
(3) Unidades de color en la escala platino-cobalto (4) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT)		

Fuente: Normas COGUANOR.

- Límites establecidos por COGUANOR para las sustancias no deseadas en agua potable

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Fluoruro (F^-)	---	1,700
Hierro total (Fe)	0,100	1,000
Manganeso (Mn)	0,050	0,500
Nitrato (NO_3^-)	---	10,00
Nitrito (NO_2^-)	---	1,00

Fuente: Normas COGUANOR.

Continuación del anexo 1.

- Límites máximos permisibles de las sustancias inorgánicas con significado para la salud

Características	LMP (mg/L)
Arsénico (As)	0,010
Bario (Ba)	0,700
Boro (B)	0,300
Cadmio (Cd)	0,003
Cianuro (CN ⁻)	0,070
Cromo (Cr)	0,050
Mercurio (Hg)	0,001
Plomo (Pb)	0,010
Selenio (Se)	0,010

Fuente: Normas COGUANOR.

Continuación del anexo 1

- Valores guía para verificación de la calidad microbiológica del agua

Microorganismos	LMP
Agua para consumo directo Coliformes totales y <i>E. Coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua.
Agua tratada que entra al sistema de distribución Coliformes totales y <i>E. Coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua.
Agua tratada en el sistema de distribución Coliformes totales y <i>E. Coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua.

Fuente: Normas COGUANOR.

Anexo 2. Informe de análisis fisicoquímicos de muestras del Río Mopán



14 Avenida 19-50, Condado El Naranjo, Bodega # 23
Ofibodegas San Sebastián, Zona 4 de Mixco, Guatemala
PBX: 2416-2916 Fax: 2416-2917
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS DE MICROBIOLOGIA ACREDITADO ISO 17025 OGA-LE-031-09

Cliente : MARY CARRILLO (11851)
Dirección : GUATEMALA
Persona Responsable : INGA. MARY CARRILLO
Referencia Cliente : RIO MOPAN

Número de orden : 90273
Código de muestra: 15.02.27.06.01
Fecha de ingreso : 27/02/2015
Fecha del informe : 10/03/2015
Asesor : RECEPCION INDUSTRIALES

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo	: 26/02/2015	Fecha de inicio del análisis	: 27/02/2015
Hora de Muestreo	: 15:30 P.M.	Hora del análisis	: 16:30 P.M.
Tipo de Muestra	: AGUA DE RIO	Hora de Ingreso	: 14:22:29
Coordenadas	:	Temperatura de ingreso	: 12.8 °C
Recipiente	: BOLSA ESTERIL	Resp. de Muestreo	: CLIENTE
Apariencia	: CLARA	Temp. de almacenamiento	: 2.5±1.5 °C
Procedencia	SAN IGNACIO, CAYO DISTRICT, BELIZE		

RESULTADOS

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	% VALOR PERMITIDO	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
** CONTEO DE BACTERIAS AEROBIAS	UFC/ml	660	--	<10	SM 9215 B
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ml	> 23	<1.1	<1.1	SM 9221 B
COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	6.9	--	<1.1	SM 9221 E
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	6.9	<1.1	<1.1	SM 9221 F

UFC: Unidades Formadoras de Colonia.
NMP: Número más probable.

* Según Norma Guatemalteca COGUANOR (NTG 29001) para análisis microbiológico de agua potable.

Metodología con base en:

Heterotrophic Plate Count (9215) Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group (9221).
- Standard Methods for the examination of water and wastewater APHA, AWWA, WEF 22nd ed. 2012.

** Temperatura / Tiempo de incubación : 35 ± 0.5 °C / 48h
Medio de cultivo: Plate Count Agar (PCA)

Ultima Línea

Licda. Elsa Jauregui Jimenez
QUIMICA BIÓLOGA
COLEGIADA No. 1192

Revisado: 
Licda. Elsa Jauregui
Química Bióloga, Colegiada No. 1192



Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio.
La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.
Este informe es válido únicamente en su impresión original

Página 1 / 1

Fuente: Laboratorio Soluciones Analíticas, 14 Av. 19-50, Zona 4 de Mixco, Ciudad de Guatemala.

Continuación del anexo 2.



14 Avenida 19-50, Condado El Naranjo, Bodega # 23
 Ofibodegas San Sebastián, Zona 4 de Mixco, Guatemala
 PBX: 2416-2916 Fax: 2416-2917
 info@solucionesanaliticas.com
 www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS DE AGUA POTABLE

Cliente	: MARY CARRILLO (11851)	Número de orden	: 90273
Persona Responsable	: INGA. MARY CARRILLO	Código de muestra	: 15.02.27.05.02
Asesor	: RECEPCION INDUSTRIALES	Fecha de ingreso	: 27/02/2015
Cultivo	: SIN CULTIVO (SN)	Fecha del informe	: 03/03/2015

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia	: SAN IGNACIO, CAYO DISTRICT, BELIZE	Temperatura de Ingreso	: REFRIGERADA
Ubicación	:	Temperatura almacenaje	: REFRIGERADA
Referencia cliente	: RIO MOPAN	Apariencia	: CLARA
Fecha de muestreo	: 26/02/2015	Fecha de ingreso	: 27/02/2015
Hora de muestreo	: 15:30	Hora de ingreso	: 14:22:18
Tipo de muestra	: AGUA DE RIO	Hora inicio análisis	: 6:00 A. M.
Recipiente	: PLASTICO	Responsable de muestreo	: NO INDICA
Coordenadas	:		

Párametros	Dimensional	Valor	LMA*	LMP*
pH		7.8	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
CONDUCTIVIDAD	mS/cm	0.44	0.75	< 1.5
DUREZA	mg/l CaCO ₃	247.1	100.0	500.0
TURBIEDAD	NTU	< 5.00	5.0	15.0
OLOR		NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	--
COLOR	UPtCo	1.00	5.0	35.0

Elemento	Dimensional	Valor	LMA*	LMP*
Nitrato	mg/l NO ₃	2.10	---	50.00
Nitritos	mg/l NO ₂	< 0.01	---	3.00
Calcio	mg/l Ca	66.56	75.00	150.00
Magnesio	mg/l Mg	19.61	50.00	100.00
Sulfato	mg/l SO ₄	11.00	100.00	250.00
Boro	mg/l B	< 0.09	---	0.30
Cobre	mg/l Cu	< 0.02	0.05	1.50
Hierro	mg/l Fe	< 0.06	0.30	---
Manganeso	mg/l Mn	< 0.01	0.10	0.40
Zinc	mg/l Zn	< 0.02	3.00	70.00
Cloruro	mg/l Cl	5.60	100.00	250.00

Revisado: Miguel Angel Mendoza B.
 INGENIERO QUIMICO
 COLEGIADO No. 2001
 Gerente de Laboratorios

*Con base en la Norma COGUANOR NTG29001 Agua para consumo humano (agua potable).
 - Límite Máximo Aceptable(LMA): Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del Consumidor.
 - Límite Máximo Permisible (LMP): Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad de agua, arriba del cual el agua no es adecuada para consumo humano.
 --- = No se tienen Límites
 NTU = Unidades Nefelométricas de Turbidez
 Metodología con base en:

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WWF. 20th.ed. 1998

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio
 La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.
 Este informe es válido únicamente en su impresión original



Fuente: Laboratorio Soluciones Analíticas, 14 Av. 19-50, Zona 4 de Mixco, Ciudad de Guatemala.

Continuación del anexo 2.



14 Avenida 19-50, Condado El Naranjo, Bodega # 23
 Ofibodegas San Sebastián, Zona 4 de Mixco, Guatemala
 PBX: 2416-2916 Fax: 2416-2917
 info@solucionesanaliticas.com
 www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Cliente : MARY CARRILLO (11851)
 Dirección : GUATEMALA
 Persona Responsable : INGA MARY CARRILLO
 Referencia Cliente : RIO MOPAN
 Paquete de análisis : ANALISIS QUIMICO Y/O FISICO

Número de orden : 90273
 Código de muestra : 15.02.27.03.07
 Fecha de ingreso : 27/02/2015
 Fecha del informe : 10/03/2015
 Asesor : RECEPCION INDUSTRIALES

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo	: 26/02/2015	Fecha Inicio de Análisis	: 27/02/2015
Hora de Muestreo	: 15:30	Hora de Ingreso	: 14:23:02
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	:
Tipo de muestra	: AGUA DE RIO	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C
Localización	: SAN IGNACIO, CAYO DISTRICT, BELIZE	Responsable de muestreo	: CLIENTE

PARAMETROS LABORATORIO

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
ALUMINIO	mg/L Al	< 0.002	0.002	SM 3120B
MERCURIO	mg/L Hg	< 0.0005	0.0005	EPA 245.1

Metodología basada en:
 Determination of Mercury in Water by Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry

Miguel Angel Mendoza B.
 INGENIERO QUIMICO
 COLEGIADO No. 2001

Revisado: 
 Gerente de Laboratorios



Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio.
 La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.

Fuente: Laboratorio Soluciones Analíticas, 14 Av. 19-50, Zona 4 de Mixco, Ciudad de Guatemala.

Anexo 3. **Equipo de muestreo y análisis in-situ para análisis de oxígeno disuelto**



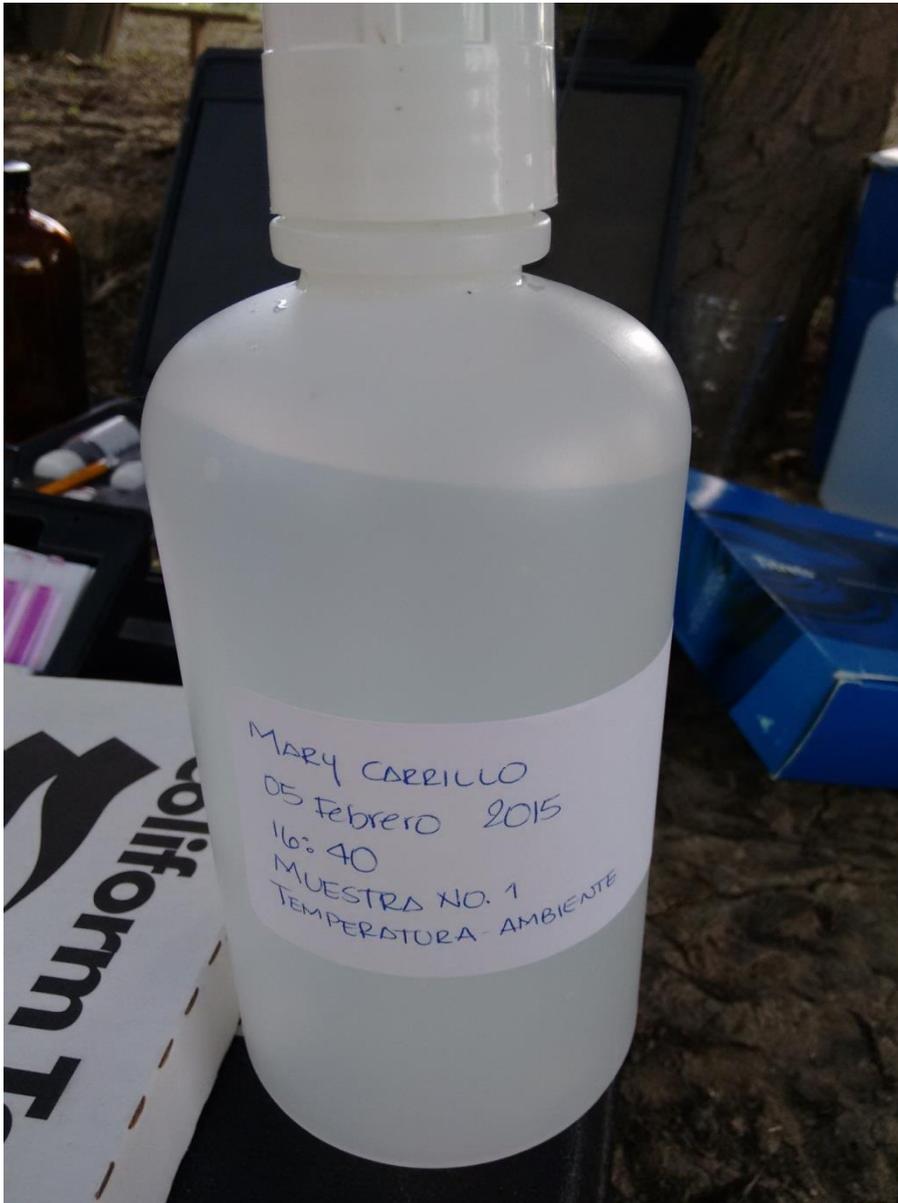
Fuente: equipo de muestreo y análisis in-situ de oxígeno disuelto, Río Mopán, San Ignacio, Belice.

Anexo 4. **Equipo de muestreo in-situ para análisis de *E. Coli***



Fuente: equipo de muestreo y análisis in-situ de *E. Coli*, Río Mopán, San Ignacio, Belice.

Anexo 5. **Muestra de agua para análisis fisicoquímico**



Fuente: muestra de agua del Río Mopán, San Ignacio, Belice.

Anexo 6. **Kits de muestreo y análisis fisicoquímico in-situ de agua**



Fuente: equipo de muestreo y análisis in-situ de *E. Coli*, Río Mopán, San Ignacio, Belice.

Anexo 7. **Kits y envases para recolección de muestras de agua**



Fuente: kits y equipo de muestreo y análisis varios, Río Mopán, San Ignacio, Belice.