



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

**EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA DEPURACIÓN DEL AGUA DEL RÍO TEOCINTE
EN LA PLANTA POTABILIZADORA SANTA LUISA, POR MEDIO DE ÍNDICES
FISICOQUÍMICOS DE CALIDAD DEL AGUA**

Josselin Dayanne Zelada Morales

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, septiembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA DEPURACIÓN DEL AGUA DEL RÍO TEOCINTE
EN LA PLANTA POTABILIZADORA SANTA LUISA, POR MEDIO DE ÍNDICES
FISICOQUÍMICOS DE CALIDAD DEL AGUA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSSELIN DAYANNE ZELADA MORALES

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERIA QUÍMICA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic Garcia
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen 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. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA DEPURACIÓN DEL AGUA DEL RÍO TEOCINTE EN LA PLANTA POTABILIZADORA SANTA LUISA, POR MEDIO DE ÍNDICES FISICOQUÍMICOS DE CALIDAD DEL AGUA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 21 de julio de 2016.

Josselin Dayanne Zelada Morales

Guatemala 22 de marzo del 2017

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

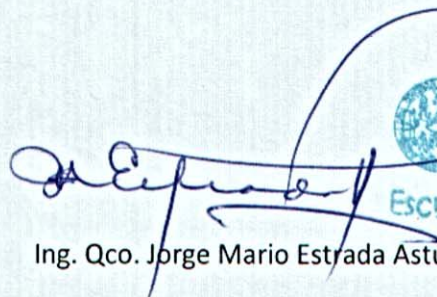
Estimado señor Director:

Tengo el agrado de dirigirme a usted, deseándole éxitos en sus labores diarias. El motivo de la presente es para referirme al informe final de trabajo de graduación, denominado: **EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA DEPURACIÓN DEL AGUA DEL RÍO TEOCINTE EN LA PLANTA POTABILIZADORA SANTA LUISA, POR MEDIO DE ÍNDICES FISICOQUÍMICOS DE CALIDAD DEL AGUA** de la estudiante JOSSELIN DAYANNE ZELADA MORALES con número de identificación 2441 80539 0115, estudiante de la carrera de Ingeniería Química.

Al respecto, hago de su conocimiento que he revisado y aprobado el informe final de trabajo de graduación de la señorita Zelada para que pueda continuar con los trámites respectivos.

Sin otro particular, me suscribo de usted

Atentamente.


Ing. Qco. Jorge Mario Estrada Asturias

 Jorge Mario Estrada Asturias
Ingeniero Químico Col. 685
Profesor Titular
Escuela de Ing. Química USAC



Guatemala, 29 de mayo de 2017.
Ref. EIQ.TG-IF.023.2017.

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 **024-2016** 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: **Josselin Dayanne Zelada Morales**.
Identificada con número de carné: **2011-14097**.
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:

EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA DEPURACIÓN DEL AGUA DEL RÍO TEOCINTE EN LA PLANTA POTABILIZADORA SANTA LUISA, POR MEDIO DE ÍNDICES FÍSICOQUÍMICOS DE CALIDAD DEL AGUA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorada por el Ingeniero Químico: **Jorge Mario Estrada Asturias**.

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"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química



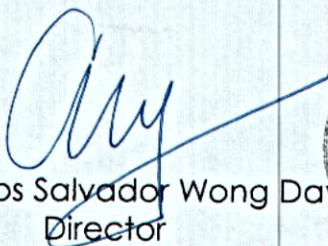
firma por Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio, coordinador de terna
C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.038.2017

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, **JOSSELIN DAYANNE ZELADA MORALES** titulado: **"EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA DEPURACIÓN DEL AGUA DEL RÍO TEOCINTE EN LA PLANTA POTABILIZADORA SANTA LUISA, POR MEDIO DE ÍNDICES FISICOQUÍMICOS DE CALIDAD DEL AGUA"**. 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 Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, agosto 2017

Cc: Archivo
CSWD/ale



Ref. DTG.400-2017

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: **EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA DEPURACIÓN DEL AGUA DEL RÍO TEOCINTE EN LA PLANTA POTABILIZADORA SANTA LUISA, POR MEDIO DE INDICES FISICOQUÍMICOS DE CALIDAD DEL AGUA**, presentado por la estudiante universitaria: **Josselin Dayanne Zelada Morales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Angel Roberto Sic G.
Decano en Funciones



Guatemala, septiembre de 2017

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Gracias por ayudarme a terminar este proyecto, por darme la fuerza y el coraje para hacer este sueño realidad, por estar conmigo en cada momento de mi vida, por mostrarme tu amor y tu gracia en los momentos de debilidad, es una prueba más de tu fidelidad, fuiste más allá de mis expectativas. Gracias por haberme iluminado y guiado durante este tiempo de mi carrera porque sin Ti no hubiera podido salir adelante en los momentos difíciles y de prueba. Te necesitaré siempre en todo lo que emprenda en mi vida por lo que jamás dejaré de buscarte ni me apartaré de Ti.

Mi madre

Nora Angélica Morales Gaitán, gracias por todo el apoyo incondicional, por ser madre y padre al mismo tiempo, porque siempre has procurado con la ayuda de Dios instruirnos y darnos lo mejor. Gracias por ser la mejor mamá del mundo y por quitarte el pan de la boca con tal de que no nos faltara nada, gracias por esas noches de desvelo que has tenido, por tus oraciones y estar conmigo en cada etapa de mi vida. Asimismo, por ser una madre, una amiga y una consejera. Te amo mamá.

Mi hermano

Roger Leonel Zelada Morales, gracias por soportarme y por preocuparte por mí cuando las cosas me salían mal, gracias por tu amor y apoyo, te quiero mucho.

Mis abuelitos

A mi mamita tita por recibirme cada día con un abrazo y un beso, por cada oración hecha a mi favor a lo largo de mi carrera y de mi vida, así como tu amor, comprensión y paciencia con la que cada día te preocupabas por mí en esos momentos difíciles que tuvimos. Gracias por siempre estar junto a mí cuando lo necesito. A mi papito Berna por su amor y apoyo.

Mis tíos

Tía Lisseth Morales Gaitán y tía Floridalma Morales Gaitán, gracias por apoyarme en todo, darme confianza en mí misma en todo momento y por incluirme en sus oraciones. Asimismo, a mis tíos Henry, Marvin, Oscar, Otto, Eliseo e Hilda, gracias por su apoyo y creer siempre en mí.

Mi tío Ing. Axel Morales

Con mi más grande respeto y profundo cariño le agradezco por confiar en mi capacidad a lo largo de mi carrera. Gracias por darme la oportunidad de cosechar éxitos en mi vida. Que Dios lo bendiga por todo el apoyo brindado.

Mis primos

Grecia, Melanny, Marcia, Axelito y Brandon.
Gracias por todos los buenos momentos que
hemos pasado juntos y por su admiración.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por permitirme desarrollarme como profesional en esta gloriosa casa de estudio. Especialmente a la Facultad de Ingeniería.

Mi padre

Gracias por desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida.

Mis amigos

Por sus muestras de cariño, confianza, por ejercerme presión para finalizar este proyecto y demostrarme una amistad sincera.

**Mis amigos de
la facultad**

Que de una u otra manera me ayudaron, escucharon o dieron palabras de aliento. Compartiendo conmigo todos los sacrificios de esta vida universitaria.

Griselda Ruiz

Mi colochita, gracias por su apoyo y admiración, la considero como una tía más. La quiero mucho.

**Ingeniera Qca.
Miriam Mencos**

Gracias por todo su apoyo y ser un ejemplo a seguir.

**Ingeniero Gustavo
Flores y Rosembel**

Por su apoyo en el desarrollo de la fase experimental de mi trabajo de graduación y su confianza brindada.

**Ingeniero Qco. Jorge
Mario Estrada Asturias**

Por su apoyo y amistad. Por su asistencia como asesor del trabajo de graduación, amabilidad y disponibilidad, por ayudarme en mi formación como profesional. Asimismo, por compartir su experiencia y conocimiento.

**Dirección de Medio
Ambiente de la
Municipalidad de
Guatemala**

Por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación. En especial a la ingeniera Beatriz Ramírez Sosa y al ingeniero Jhonatan Sican.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
Hipótesis	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Microcuenca del río Teocinte.....	5
2.2. Planta de tratamiento de agua potable Santa Luisa de Guatemala	8
2.3. Calidad del agua.....	8
2.3.1. Índices fisicoquímicos de calidad del agua	8
2.3.2. Índice de calidad general (ICG)	9
2.3.2.1. Índice simplificado de calidad de aguas (ISQA).....	9
2.3.2.2. Índice automático de calidad de aguas (ISQA).....	11
2.3.3. Clasificación de los índices de calidad.....	12
2.3.4. Parámetros fisicoquímicos	12
2.3.4.1. Temperatura	12
2.3.5. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	13

2.3.6.	Demanda química de oxígeno (DQO)	13
2.3.7.	Sólidos en suspensión totales(SST)	13
2.3.8.	Oxígeno disuelto (OD)	14
2.3.8.1.	Conductividad	15
2.4.	Agua potable	15
2.5.	Tratamiento de aguas	15
2.6.	Principales procesos empleados en el tratamiento del agua ...	16
2.6.1.	Transferencia de sólidos.....	16
2.6.2.	Transferencia de iones	17
2.6.3.	Transferencia de gases	19
2.7.	Normativa COGUANOR NGO 29001:99 para agua potable en Guatemala	19
3.	METODOLOGÍA	21
3.1.	Variables	21
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	22
3.2.1.	Campo de estudio.....	22
3.2.2.	Etapas que conforman la investigación	22
3.2.3.	Ubicación del desarrollo de la investigación	22
3.3.	Recursos disponibles	23
3.3.1.	Humanos	23
3.3.2.	Institucionales	23
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	24
3.4.1.	Equipo	24
3.4.2.	Reactivos	24
3.5.	Técnica cuantitativa o cualitativa.....	24
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	24
3.6.1.	Procedimiento para la recolección de muestras	24
3.6.2.	Parámetros de medición en campo	26

3.7.	Tabulación ordenamiento y procesamiento de la información	27
3.8.	Análisis estadístico	28
3.8.1.	Diseño experimental	28
3.8.2.	Medidas de tendencia central	29
3.8.3.	Media aritmética.....	29
3.8.4.	Medidas de dispersión	29
3.8.5.	Varianza.....	30
3.8.6.	Desviación estándar.....	30
3.9.	Plan de análisis de los resultados	30
3.9.1.	Programas a utilizar en el análisis de los datos	32
4.	RESULTADOS	33
5.	INTEPRETACIÓN DE RESULTADOS	37
	CONCLUSIONES	41
	RECOMENDACIONES	43
	BIBLIOGRAFÍA.....	45
	APÉNDICES	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Clasificación del ISQA.....	12
2.	Distribución de Tukey.....	32
3.	Mapa de la calidad del agua en época seca	35
4.	Mapa de la calidad del agua en época lluviosa.....	36

TABLAS

I.	Variables para ubicación geográfica de los puntos de muestreo	21
II.	Parámetros característicos fisicoquímicos	21
III.	Preservación de muestras.....	26
IV.	Parámetros fisicoquímicos del río Teocinte.....	27
V.	Índice fisicoquímico simplificado de la calidad del agua (ISQA).....	27
VI.	Parámetros fisicoquímicos del río La Manguita.....	33
VII.	Parámetros fisicoquímicos del río La Piedrona	33
VIII.	Parámetros fisicoquímicos del río San Antonio	34
IX.	Parámetros fisicoquímicos de la planta Santa Luisa	34
X.	Índice simplificado de la calidad del agua	34

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
DQO	Demanda química de oxígeno (mg/L)
s	Desviación estándar
e	Error experimental estimado
°C	Grados celsius
H_1	Hipótesis alternativa
H_0	Hipótesis nula
ISQA	Índice simplificado de calidad del agua
L	Litro
mg	Miligramos
$Z_{\alpha/2}$	Nivel de confianza deseado en las mediciones
n	Número de corridas experimentales
OD	Oxígeno disuelto (mg/L)
p	Probabilidad de éxito
q	Probabilidad de fracaso
SST	Sólidos suspendidos totales (mg/L)
s^2	Varianza

GLOSARIO

Calidad del agua	Características químicas, físicas y biológicas del agua.
Coagulación	Es el proceso de desestabilización química de partículas coloidales realizadas por adicción de un coagulante.
Conductividad eléctrica	Es la aptitud para transmitir la corriente eléctrica.
Demanda química de oxígeno	Determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua.
Filtración	Proceso unitario de separación de sólidos en una suspensión a través de un medio poroso.
Oxígeno disuelto	Cantidad de oxígeno disuelto en el agua.
Potabilización	Proceso al que es sometida el agua para ser apta para el consumo humano
Río	Corriente de agua continúa sobre la superficie terrestre.

Sedimentación	Separación por la acción de la gravedad de las partículas suspendidas.
Sólidos suspendidos totales	Material constituido por los sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos y coloidales que son retenidos por un filtro de fibra de vidrio
Temperatura	Percepción macroscópica de la energía interna de las moléculas de un cuerpo.

RESUMEN

El presente estudio de investigación consistió en la evaluación de la efectividad de la depuración del agua de la microcuenca del río Teocinte en la planta potabilizadora Santa Luisa por medio del índice simplificado fisicoquímico de calidad del agua ISQA.

Se muestrearon tres ramales del río Teocinte: río La Manguita, río La Piedrona y río San Antonio; se cuantificaron cinco parámetros fisicoquímicos del agua sin tratamiento y del agua a la salida del tratamiento potabilizador: temperatura, conductividad y oxígeno disuelto determinados *in situ* y mediante análisis de laboratorio; sólidos suspendidos totales y demanda química de oxígeno (DQO), correspondientes al índice simplificado de la calidad del agua (ISQA); todos se determinaron tanto en época seca como en época lluviosa.

Los resultados, para el río La Manguita y el río la Piedrona durante la época seca, presentaron índices arriba de 75; la calidad del agua para los tres ríos fue como buena. Sin embargo, para la época lluviosa, se presentaron índices menores a 75 en dos muestreos que califica la calidad del agua como regular. En cambio, para el río San Antonio, los valores del ISQA indican, también, una calidad del agua buena para época seca pero una calidad de mala a regular para la época lluviosa. Por tanto, el agua de los ríos aún puede ser tratada y utilizada para el consumo humano.

Se determinó que la calidad del agua no se puede evaluar mediante el índice ISQA para agua potable debido a la influencia de la demanda química de

oxígeno que por motivos de normas no se analiza para agua potable y al efecto que sufre el oxígeno disuelto en el proceso de filtración provoca una disminución en los índices. Por lo tanto, se evaluó la eficiencia de la planta mediante la Norma COGUANOR 29001; se concluyó que el agua es apta para el consumo humano.

Asimismo, se utilizó una herramienta de información geográfica para la elaboración de mapas, que sirvieron como representación gráfica de la calidad del agua en cada zona de la microcuenca del río Teocinte.

OBJETIVOS

General

Evaluar la efectividad de la depuración del agua del río teocinte en la planta potabilizadora Santa Luisa por medio de índices fisicoquímicos de calidad del agua.

Específicos

1. Determinar la temperatura, conductividad eléctrica, cantidad de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales y la demanda química de oxígeno, en el río Teocinte y a la salida de la planta de tratamiento Santa Luisa.
2. Calcular el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) del río Teocinte sin tratamiento y del agua potable.
3. Establecer los porcentajes de variación en los índices fisicoquímicos antes y después del tratamiento del agua del río Teocinte.
4. Proponer las posibles medidas de mitigación para el control de la calidad del agua que se distribuye en toda la población.
5. Elaborar mapas temáticos de calidad del agua según los resultados obtenidos.

Hipótesis

La depuración efectuada en la planta de tratamiento Santa Luisa mejora los índices de calidad del agua respecto del agua captada del río sin tratamiento.

Hipótesis nula (H_0)

No existe diferencia significativa entre los valores del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) del río respecto a la salida del tratamiento.

Hipótesis alternativa (H_1)

No existe diferencia significativa entre los valores del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) del río respecto a la salida del tratamiento.

INTRODUCCIÓN

Las fuentes de agua superficial son eje de desarrollo de los seres humanos que permiten el abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo en los asentamientos poblacionales; no obstante, de forma paradójica, muchas de estas actividades causan alteración y deterioro de dichas fuentes.

Es fundamental asegurar que el agua para consumo tenga una calidad adecuada. Las enfermedades ligadas al consumo de agua contaminada son numerosas; consumir agua potable permite reducir de forma significativa la exposición de las poblaciones a dichas enfermedades y los beneficios en la salud son considerables. Los distintos organismos y entidades que trabajan en la lucha para un acceso al agua potable han generado multitud de informaciones y documentos que permiten trabajar de forma alineada.

El deterioro de las fuentes de abastecimiento de agua incide directamente en el nivel de riesgo sanitario presente y en el tipo de tratamiento requerido para su reducción; la evaluación de la calidad del agua permite tomar acciones de control y mitigación que garantizan el suministro de agua segura. Una herramienta es el uso de los índices de calidad de agua, ICA; surgen como una herramienta simple para la evaluación de la calidad del recurso hídrico fundamental en procesos decisorios de políticas públicas y en el seguimiento de sus impactos.

1. ANTECEDENTES

La Municipalidad de Guatemala ha trabajado varios proyectos relacionados con el índice simplificado de la calidad del agua ISQA del río Contreras, río Guarón, Quebrada el Cangrejo, Quebrada el Frutal, río Los Ocotes, y río Bijague.

Al realizar una búsqueda bibliográfica relacionada con el tema de la calidad del agua, se encontraron varios estudios realizados en el interior de Guatemala. Sin embargo, no se cuenta con un estudio sobre la efectividad del tratamiento del agua del río Teocinte mediante índices fisicoquímicos de la calidad del agua.

Las investigaciones realizadas son:

- En octubre de 2005, Rita Yesenia Solórzano Ponce, estudiante de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, realizó su trabajo de graduación titulado: *Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial proveniente de la planta de tratamiento La Carbonera, municipio de Sanarate, departamento de El Progreso, Guatemala*. Realizó una recolección de muestra de agua en cuatro puntos distintos de la planta de tratamiento La Carbonera que surte el agua a la población del municipio de Sanarate departamento de El Progreso. Los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos fueron realizados y evaluados según métodos y especificaciones dictados por la norma COGUANOR NGO 29001

determinación de la calidad del agua para consumo humano, índice de Langelier de agua para uso industrial y norma CATIE de agua para uso de ciertas industrias.

- En marzo de 2006, Francisco Josué Ramos Maldonado, estudiante de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó su trabajo de graduación titulado: *Análisis de la calidad del agua para consumo humano en el área urbana del puerto de San José, departamento de Escuintla*.
- En noviembre 2008, Jorge Leonel Rivera Méndez, estudiante de la Maestría de Ingeniería Sanitaria de La Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó su trabajo de graduación titulado: *Determinación de los índices de calidad y coeficientes cinéticos de auto depuración del agua, en la parte alta de la cuenca del río naranjo, ubicada en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango*. Los indicadores mostraron la autorrecuperación del río a través de la degradación de la materia orgánica y la dilución por los aportes de los afluentes.
- En noviembre 2012, Ana Isabel Arriola de León Régi, estudiante de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó su informe de práctica profesional titulado: *Índices de calidad de agua en el río Pínula, cuenca del lago de Amatitlán*. Los índices que se utilizaron fueron: índice de calidad de agua para El Salvador, ICA-SV; índice biológico a nivel de familia para El Salvador, IBF-SV; *biological monitoring working party* para Costa Rica –BMWP-CR; y el % Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, %EPT.

- En enero 2013, Monica Lisett Aldana Aguilar, estudiante del Centro Universitario de Quiché de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó su trabajo de graduación titulado: *Índice de calidad de agua del río Cucabaj ubicado en el municipio de Santa Cruz del Quiché, Quiché y la influencia en los costos del tratamiento de potabilización.*

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Microcuenca del río Teocinte

La microcuenca del río Teocinte ubicada, casi en su mayoría, dentro del municipio de San José Pinula, se encuentra situada en la parte Este del departamento de Guatemala, a unos 22 km de la región I o región metropolitana. Se localiza en la latitud $14^{\circ} 32' 44''$ y en la longitud $90^{\circ} 24' 4''$. Limita al norte con el municipio de Palencia (Guatemala), al sur con el municipio de Santa Rosa de Lima (Santa Rosa), al este con el municipio Mataquescuintla (Jalapa), al oeste con los municipios de Fraijanes, Santa Catarina Pinula y Guatemala (Guatemala). La microcuenca cuenta con una extensión territorial de 19,75 km².

La cuenca de la presa está situada en el valle de San José Pinula, en la aldea San Luis, caudal de diseño 722 000 m³; el área tributaria de la presa es de 19,76 km² recibe, además, el caudal de las cuencas vecinas del río San José Pinula de 7,78 km², que constituye la presa de Monte Cristo Puerta Negra, La Quebrada de San Antonio (en verano, la producción de dicha fuente son los nacimientos de la quebrada y lo que baja de San José Pinula; es conducida por *baybass* aguas debajo de la presas al cuerpo receptor del río Teocinte y en invierno por rebalse un porcentaje se mezcla con el agua de la presa), la quebrada de Las Pilas, el nacimiento de Agua Viva son inyectados al cuerpo receptor de la presa; la quebrada de La Manguita y del río La Piedrona 8,24 km².

Estos ríos tributarios de la presa El Teocinte dan origen al río Teocinte que corre por la quebrada hacia el norte; del embalse es enviado por dos tuberías de 18" y 20" hacia la planta Santa Luisa en donde es tratada por medio de los procesos unitarios: medición de caudales, aplicación de químicos, mezcla rápida, canal de mezcla, sedimentación, filtración y sedimentación, para hacerla apta para el consumo humano según con la Norma COGUANOR 29001.

El material del suelo está compuesto de: sedimentos volcánicos eólicos, con intercalaciones masivas de pómez mal clasificado y sedimentos fluviolacustre y tobas; la topografía del terreno está formada por un altiplano bordeada de barrancos de aproximadamente 50 m de profundidad; la cota de la presa del fondo es de 1 600 m; el cerro común viejo alcanza una altura de 1 825 m al este de la presa, al sur el cerro Cienaguilla de 1 923 m. y al oeste el valle de aldea San Luis de 1 725 m está ubicada entre las cuadrículas 78° a la 78⁴ y de los 14° 34' a los 14° 32'; por las topografías descritas anteriormente hace que en dicho lugar existan vientos predominantes del norte al sur, pero también existen cambios sur-norte, los que se dan con los diferentes cambios de temperatura; el bosque predominante es de coníferas: ciprés común, pino, eucaliptos; especies naturales: encinos, sauce llorón; y algunos escasos frutales: nísperos aguacates, guayabos y, recientemente, se plantaron especies no nativas como eugenia la que no han prosperado por la sombra provocada por el mismo bosque.

Desde el asiento de la presa se ha visto afectada por el impacto de los contornos debido a su desarrollo paralelo por incremento urbanístico e industrial, ganadero y otros; desde los inicios, los más cercanos impactos son debidos a las desechos sólidos y líquidos domésticos de las poblaciones de San José Pinula, por ejemplo, la colonia Santa Sofía, asiento poblacional más grande de San José Pinula; además, de la gran cantidad de industrias

ganaderas, avícolas, se han convertido en tributarios directos sin tratamiento de sus desechos líquidos del río San Antonio; de igual manera sucedió con la quebrada de Monte Cristo, donde se instalaron beneficios de ganado porcino y crianza de cerdos que provocó la eliminación de estas fuentes tributarias del cuerpo receptor primario la presa El Teocinte; esto ha provocado una reducción en la capacidad de recuperación del embalse y almacenamiento.

También, existen otros factores que han incidido en el deterioro de la calidad y la cantidad del agua aunque en proporciones menores pero siempre de importancias al mismo y son la cercanía de haciendas, como Hacienda Nueva, la que ha promovido desarrollos urbanísticos y el Country - Club, que provocó deforestación y contaminación por los herbicidas utilizados en sus pastos que la escorrentía los deposita en el embalse.

La presa Cuenta con cuatro *by-pass* uno desde la Presita de San Antonio con aproximadamente 3 km, de tubería de cemento de diámetro de 16" que bordea la presa del sur al norte del lado poniente; el de la presa la Manguita de aproximadamente 4 km, de tubería de cemento de diámetro de 16" que bordea la presa de sur a norte del lado oriente; el acueducto de la presita La Piedrona que de aproximadamente de 5 km, de tubería de cemento de 16" de diámetro, que proviene del nor-oriente de la finca, el Hato; el *by-pass* principal que permite enviar el agua hacia la planta Santa Luisa directamente por un canal desde las presitas y el bombeo superficial del embalse.

Actualmente el porcentaje de la producción de la planta Santa Luisa, asciende al 7,32 % del total de la producción de agua potable de la ciudad de Guatemala, incluyendo el Proyecto de Emergencia I, y los pozos de casco de la ciudad, asumiendo una producción promedio del 74 % a la presa El Teocinte, del total de la producción del Sistema Santa Luisa; por oscilaciones de invierno

y verano con operaciones críticas del embalse de El Teocinte se asume que este aporta el 5,42 % de la producción total de la ciudad de Guatemala.

2.2. Planta de tratamiento de agua potable Santa Luisa de Guatemala

“Ubicada en Acatán, Santa Rosita, zona 16. En la actualidad, la planta de tratamiento Santa Luisa consta de 4 vertederos de entrada, 1 punto para dosificación de químicos, un floculador, dos sedimentadores, 6 filtros, tanque elevado y 2 tanques de almacenamiento”.¹

2.3. Calidad del agua

La calidad del agua es una variable descriptiva fundamental del medio hídrico tanto de su caracterización ambiental como desde la perspectiva de la planificación y gestión hidrológica, ya que delimita la aptitud del agua para mantener los ecosistemas y atender las diferentes demandas.

2.3.1. Índices fisicoquímicos de calidad del agua

Los índices de calidad son herramientas que permiten asignar un valor de calidad al medio a partir del análisis de diferentes parámetros. Su combinación da una visión más precisa del estado ecológico y el estado del medio biológico.

Poseen la capacidad de resumir y simplificar datos complejos.

- Tienen expresión numérica, pueden incluirse en modelos para la toma de decisiones.

¹ Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala, EMPAGUA <http://www.congreso.gob.gt / manager / images / 483AD12A-8ABD-DB3F-B91E-00CA0187FE67.pdf>. Consulta: 29 de julio de 2016.

- Entendibles al público, los medios y los usuarios.
- Poseen menos información que los datos brutos que representan una parte o un aspecto particular del problema.
- Deben ser tomados con precaución, en formas críticas y actualizadas periódicamente.

A continuación, se presentan los índices de calidad más comunes:

2.3.2. Índice de calidad general (ICG)

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

2.3.2.1. Índice simplificado de calidad de aguas (ISQA)

Índice muy fácil de utilizar que proporciona una idea rápida e intuitiva de la calidad, pero que precisa ser completado con otros índices para obtener una visión real de la situación. Se obtiene a partir de una sencilla fórmula que combina 5 parámetros fisicoquímicos:

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

Donde:

- E: temperatura del agua (T en °C). Puede tomar valores comprendidos entre 0,8 y 1 según:
 - $E = 1$ si $T \leq 20$ °C
 - $E = 1 - (T - 20) \cdot 0,0125$ si $T > 20$ °C
- A: demanda química orgánica según la oxidabilidad al permanganato (DQO-Mn en mg/l). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 30 según:
 - $A = 30 - \text{DQO-Mn}$ si $\text{DQO-Mn} \leq 10$ mg/l
 - $A = 21 - (0,35 \cdot \text{DQO-Mn})$ si $60 \text{ mg/l} \geq \text{DQO-Mn} > 10$ mg/l
 - $A = 0$ si $\text{DQO-Mn} > 60$ mg/l

Tradicionalmente, esta ha sido la forma de obtener el parámetro A, pero a partir de 2003 se empezó a calcular mediante el carbono orgánico total (COT en mg/l) que también estima la cantidad de materia orgánica presente en el agua, pero de una manera más reproducible y fiable. En este caso el parámetro A puede tomar valores comprendidos entre 0 y 30 según:

- $A = 30 - \text{COT}$ si $\text{COT} \leq 5$ mg/l
- $A = 21 - (0,35 \cdot \text{COT})$ si $12 \text{ mg/l} \geq \text{COT} > 5$ mg/l
- $A = 0$ si $\text{COT} > 12$ mg/l
- B: sólidos en suspensión totales (SST en mg/l). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:
 - $B = 25 - (0,15 \cdot \text{SST})$ si $\text{SST} \leq 100$ mg/l

- $B = 17 - (0,07 \cdot SST)$ si $250 \text{ mg/l} \geq SST > 100 \text{ mg/l}$
- $B = 0$ si $SST > 250 \text{ mg/l}$
- C: oxígeno disuelto (O_2 en mg/l). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:
 - $C = 2,5 \cdot O_2$ si $O_2 < 10 \text{ mg/l}$
 - $C = 25$ si $O_2 \geq 10 \text{ mg/l}$
- D: conductividad (CE en $\mu\text{S/cm}$ a 18°C). Si la conductividad se mide a 25°C , para obtener la conversión a 18°C se multiplicará por 0,86. Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 20 según:
 - $D = (3,6 - \log CE) \cdot 15,4$ si $CE \leq 4000 \mu\text{S/cm}$
 - $D = 0$ si $CE > 4000 \mu\text{S/cm}$

El ISQA va a oscilar entre 0 (calidad mínima) y 100 (calidad máxima) de manera similar a como lo hace el ICG.

2.3.2.2. Índice automático de calidad de aguas (ISQA)

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

2.3.3. Clasificación de los índices de calidad

Figura 1. Clasificación del ISQA

Calidad	Valor	Significado	Color
Buena	76-100	Aguas claras, sin aparente contaminación.	Azul
Regular	51-75	Ligero color del agua, con espumas y ligera turbidez del agua, no natural.	Verde
Mala	26-50	Apariencia de aguas contaminadas y de fuerte olor.	Amarillo
Pésima	0-25	Aguas negras, con procesos de fermentación y olor.	Rojo

Fuente: UAM. *Aproximación a los sistemas acuáticos lóticos: muestreo, tratamiento de datos e índices de calidad del agua.* p. 11.

2.3.4. Parámetros fisicoquímicos

2.3.4.1. Temperatura

La temperatura del agua residual es mayor que la temperatura del agua para abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial; por lo tanto, incide en la solubilidad del oxígeno disuelto en las aguas residuales ya que a mayor temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno. Asimismo, influye en las velocidades de las reacciones químicas e incide en los procesos biológicos, inhibiendo la actividad de las bacterias al llegar a una temperatura de 50 °C, por lo que la temperatura óptima para el desarrollo bacteriano debe estar comprendida en el rango de 25 °C a 35 °C.

2.3.5. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Este parámetro se aplica a las aguas residuales y en menor medida a las aguas superficiales. Es la cantidad de oxígeno consumido (durante 5 días en ausencia de luz y a una temperatura de 20 °C), con el fin de oxidar la materia orgánica biodegradable presente en el agua por procesos aeróbicos.

2.3.6. Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno necesario para descomponer químicamente la materia orgánica degradable y biodegradable en un periodo de tres horas.

Como agente oxidante se emplea el dicromato de potasio, siendo el medio acidificante e ácido sulfúrico; ambas son sustancias fuertemente oxidantes. Bajo tales condiciones se oxida toda la materia orgánica presente en la muestra incluyendo aquella que los microorganismos no pueden degradar.

2.3.7. Sólidos en suspensión totales(SST)

La determinación de los sólidos totales permite estimar los contenidos de sólidos suspendidos, sedimentables y disueltos en un agua. “Se obtienen después de someter el agua a un proceso de evaporación a temperaturas comprendidas entre 103 °C y 105 °C.”²

² Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente. *Manual para inspectores, control de efluentes industriales*. p. 83.

2.3.8. Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

El oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua, por lo que están muy influidos por las turbulencias del río (que aumentan el OD) o ríos sin velocidad (en los que baja el OD). Parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas, por tanto, ríos con muchas plantas en días de sol pueden presentar sobresaturación de OD.

Además, la cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua (OD) depende de la temperatura. El agua más fría puede contener más oxígeno que el agua más caliente.

Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 7 y 12 partes por millón (ppm o mg/l). A veces, se expresan en términos de porcentaje de saturación.

Los niveles bajos de OD pueden encontrarse en áreas donde el material orgánico (vertidos de depuradoras, granjas, plantas muertas y materia animal) está en descomposición. Las bacterias requieren oxígeno para descomponer desechos orgánicos y, por lo tanto, disminuyen el oxígeno del agua.

2.3.8.1. Conductividad

La conductividad del agua está relacionada con la concentración de las sales en disolución cuya disociación genera iones capaces de transportar la energía eléctrica. Como la solubilidad de las sales en el agua depende de la temperatura, evidentemente, la conductividad varía con la temperatura del agua (en general, aumenta conforme aumenta la temperatura del agua).

2.4. Agua potable

Es aquella que por sus características de calidad es adecuada para el consumo humano.

2.5. Tratamiento de aguas

La utilización de un tratamiento u otro depende principalmente de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales a tratar. A continuación, se describe en forma general las distintas medidas de mitigación para disminuir los residuos generados a valores permisibles por la legislación.

“Los métodos de tratamiento en el que la aplicación de fuerzas físicas predomina son conocidos como operaciones unitarias. Los métodos de tratamiento en los que se interpone la eliminación de contaminantes por medio de las reacciones químicas o biológicas se conocen como procesos unitarios.”³

³ METCALF & EDDY. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. p. 2.

2.6. Principales procesos empleados en el tratamiento del agua

Los principales procesos de transferencia utilizados en el tratamiento del agua para consumo humano son los siguientes:

- transferencia de sólidos
- transferencia de iones
- transferencia de gases

2.6.1. Transferencia de sólidos

Se consideran en esta clasificación los procesos de cribado, sedimentación, flotación y filtración.

- Cribado o cernido: consiste en hacer pasar el agua a través de rejillas o tamices que retienen los sólidos de tamaño mayor a la separación de las barras, como ramas, palos y toda clase de residuos sólidos. También, está considerado en esta clasificación el microcernido, que consiste básicamente en triturar las algas para reducir su tamaño para que puedan ser removidas mediante sedimentación.
- Sedimentación: consiste en promover condiciones de reposo en el agua para remover, mediante la fuerza gravitacional, las partículas en suspensión más densas. Este proceso se realiza en los desarenadores, presedimentadores, sedimentadores y decantadores; en estos últimos, con el auxilio de la coagulación.
- Flotación: el objetivo de este proceso es promover condiciones de reposo para que los sólidos cuya densidad es menor que la del agua asciendan

a la superficie de la unidad de donde son retirados por desnatado. Para mejorar la eficiencia del proceso, se emplean agentes de flotación. Mediante este proceso se remueven especialmente grasas, aceites, turbiedad y color. Los agentes de flotación empleados son sustancias espumantes y microburbujas de aire.

- Filtración: consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio poroso. Procesos unitarios y plantas de tratamiento 107. Este proceso se utiliza como único tratamiento cuando las aguas son muy claras o como proceso final de pulimento en el caso de aguas turbias. Los medios porosos utilizados además de la arena, que es el más común, son: la antracita, el granate, la magnetita, el carbón activado, la cáscara de arroz, la cáscara de coco quemada y molida y, también, el pelo de coco en el caso de los filtros rápidos. En los filtros lentos lo más efectivo es usar exclusivamente arena; no es recomendable el uso de materiales putrescibles.

2.6.2. Transferencia de iones

La transferencia de iones se efectúa mediante procesos de coagulación, precipitación química, absorción e intercambio iónico.

- Coagulación química: la coagulación química consiste en adicionar al agua una sustancia que tiene propiedades coagulantes que transfiere sus iones a la sustancia que se desea remover, lo que neutraliza la carga eléctrica de los coloides para favorecer la formación de flóculos de mayor tamaño y peso. Los coagulantes más efectivos son las sales trivalentes

de aluminio y hierro. Las condiciones de pH y alcalinidad del agua influyen en la eficiencia de la coagulación. Este proceso se utiliza principalmente para remover la turbiedad y el color.

- Precipitación química: la precipitación química consiste en adicionar al agua una sustancia química soluble cuyos iones reaccionan con los de la sustancia que se desea remover, formando un precipitado. Tal es el caso de la remoción de hierro y de dureza carbonatada (ablandamiento), mediante la adición de cal.
- Intercambio iónico: como su nombre lo indica, este proceso consiste en un intercambio de iones entre la sustancia que desea remover y un medio sólido a través del cual se hace pasar el flujo de agua. Este es el caso del ablandamiento del agua mediante resinas, en el cual se realiza un intercambio de iones de calcio y magnesio por iones de sodio, al pasar el agua a través de un medio poroso. Procesos unitarios y plantas de tratamiento 108 constituido por zeolitas de sodio. Cuando la resina se satura de iones de calcio y magnesio, se regenera introduciéndola en un recipiente con una solución saturada de sal.
- Absorción: consiste en la remoción de iones y moléculas presentes en la solución, concentrándolos en la superficie de un medio adsorbente, mediante la acción de las fuerzas de interfaz. Este proceso se aplica en la remoción de olores y sabores, mediante la aplicación de carbón activado en polvo.

2.6.3. Transferencia de gases

Consiste en cambiar la concentración de un gas que se encuentra incorporado en el agua mediante procesos de aereación, desinfección y recarbonatación.

- Aereación; se efectúa mediante caídas de agua en escaleras, cascadas, chorros y también aplicando el gas a la masa de agua mediante aspersión o burbujeo. Se usa en la remoción de hierro y manganeso, también, de anhídrido carbónico, ácido sulfhídrico y sustancias volátiles para controlar la corrosión y olores.
- Desinfección: consiste en la aplicación principalmente de gas, cloro y ozono al agua tratada.
- Recarbonatación: consiste en la aplicación de anhídrido carbónico para bajar el pH del agua, normalmente, después del ablandamiento.

2.7. Normativa COGUANOR NGO 29001:99 para agua potable en Guatemala

En Guatemala se encuentran tabulados los máximos aceptables y límites permisibles de compuestos químicos, características sensoriales, biocidas y límites bacteriológicos en la Norma COGUANOR 29001:99 primera revisión del Ministerio de Economía. Dicha normativa es de cumplimiento nacional y es el estándar de comparación para los parámetros de calidad de agua (COGUANOR 29001, 1999).

El 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 en la salud del consumidor (COGUANOR 29001, 1999). El LMP: es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua no es adecuada para consumo humano (COGUANOR 29001, 1999).

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables

Tabla I. Variables para ubicación geográfica de los puntos de muestreo

Nombre	Dimensional	Factor potencial de diseño		Descripción
		Constante	Variable	
Altura	Msnm	X		Ubicación territorial de los puntos de estudio
Latitud	Grados sexagesimales	X		Coordenada geográfica del punto de estudio
Longitud	Grados sexagesimales	X		Coordenada geográfica de los puntos de estudio

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. Parámetros característicos fisicoquímicos

Nombre	Unidad	Factor potencial de diseño		Descripción
		Constante	Variable	
Caudal de río	m ³ /s		X	Flujo de la corriente del río
Temperatura	°C		X	Temperatura del río
Sólidos en suspensión	mg/L		X	Sólidos suspendidos totales en el río
Oxígeno Disuelto	mg/L		X	Cantidad de oxígeno disuelto en el río
Conductividad	µS/cm		X	Concentración de sales disueltas en el río
DQO	mg/L		X	Cantidad de materia orgánica contenida en el río

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

3.2.1. Campo de estudio

Estudio de la calidad del agua de la microcuenca del río Teocinte pre y post del tratamiento de potabilización.

3.2.2. Etapas que conforman la investigación

- Localización de los puntos de muestreo en el área del río Teocinte
- Localización de la planta de tratamiento Santa Luisa
- Ejecución de los muestreos semanales
- Toma datos *in situ* y análisis de muestras en laboratorio
- Determinación de las propiedades fisicoquímicas
 - Temperatura
 - Conductividad
 - Oxígeno disuelto
 - Demanda química de oxígeno DQO
 - Sólidos suspendidos totales
- Determinación del índice fisicoquímico ISQA

3.2.3. Ubicación del desarrollo de la investigación

- río Teocinte, ubicado entre los municipios de San José Pinula y Palencia del departamento de Guatemala. Puntos de muestreo:
 - Ramal 1 del río Teocinte: La Manguita 14°33'50" N 90°22'58" W

- Ramal 2 del río Teocinte: La Piedrona 14°33'53" N 90°22'59" W
- Ramal 3 del río Teocinte: San Antonio 14°33'37" N 90°23'8" W
- Planta de tratamiento de agua Santa Luisa, ubicada en Acatán, Santa Rosita, Zona 16.
- Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina, ubicado en la Facultad de Ingeniería en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.3. Recursos disponibles

3.3.1. Humanos

- Asesor: Ingeniero Químico Jorge Mario Estrada Asturias, profesional de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala Colegiado núm. 685.
- Investigadora Josselin Dayanne Zelada Morales.
- Ingeniero Gustavo Flores.
- Ingeniera Beatriz Ramírez.
- Yonathan Sican.

3.3.2. Institucionales

- Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala.
- Empresa Municipal de Agua, EMPAGUA, Municipalidad de Guatemala.
- Centro de Investigación de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.4. Recursos materiales disponibles

3.4.1. Equipo

- Sonda multiparamétrica
- Frascos de plástico estériles

3.4.2. Reactivos

- Reactivos DQO

3.5. Técnica cuantitativa o cualitativa

Mediante la utilización de una sonda multiparamétrica se determinó *in situ* la temperatura, conductividad y oxígeno disuelto del agua del río.

Se cuantificaron los sólidos suspendidos mediante un proceso de filtración y secado. Asimismo, se cuantificó la demanda química de oxígeno (DQO) mediante reactivos certificados DQO.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

3.6.1. Procedimiento para la recolección de muestras

Es muy importante realizar correctamente el procedimiento de toma de muestra, pues de ello depende en gran parte la representatividad de los resultados analíticos.

Las consideraciones generales que se contemplaron durante cualquier tipo de muestreo de agua fueron los siguientes:

- La toma de muestras siempre se realizó utilizando guantes de látex limpios.
- Las muestras se tomaron de los sitios especificados en el plan de muestreo.
- Se identificó cada muestra de acuerdo a su identificación original del plan de muestreo.
- El recipiente se etiquetó con los siguientes datos código, localización y nombre del sitio del muestreo, fecha de muestreo, hora del muestreo, detalles del punto de muestreo, análisis para los que se toma la muestra, encargado y anotaciones.
- Para el caso de muestras de agua superficial, se tomaron en los sitios de profundidad media, o después de esta, lo cual asegura la homogeneidad en el cuerpo de agua.
- El equipo de muestreo para la obtención de las muestras se enjuagó con el agua del sitio de muestreo antes de extraer la muestra y se deberá limpiar al finalizar los trabajos de muestreo.
- Para la toma de muestra de agua para análisis fisicoquímicos, se lavó 3 veces el recipiente a utilizar, posteriormente se sumerge el recipiente en contra del flujo de agua, se llena completamente y se cierra bajo el agua. Las muestras serán colectadas en recipientes plásticos y deberán

conservarse en neveras con hielo a una temperatura alrededor de los 4°C en refrigeración.

Tabla III. **Preservación de muestras**

Determinación	Volumen mínimo de la muestra ml	Preservación	Tiempo de almacenamiento máximo recomendado
Coliformes fecales	100	Refrigeración	7 días
Conductividad eléctrica (K)	25	Análisis in situ	PTC
DBO ₅	100	Refrigeración	3 días
DQO	100	Refrigeración	2 días
OD	25	Análisis in situ	PTC
pH	25	Análisis in situ	PTC
Sólidos	2000	Refrigeración	7 días
Temperatura	25	Análisis in situ	PTC
Turbiedad	25	Análisis in situ	PTC

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Norma técnica ecuatoriana*. p. 8.

3.6.2. **Parámetros de medición en campo**

La medición de parámetros en campo (OD, conductividad y temperatura) se realizaron *in situ*, generalmente, mediante la utilización de equipo portátil como sondas multiparamétricas. En cambio, los parámetros de sólidos suspendidos totales y demanda química de oxígeno fueron analizados en el laboratorio.

3.7. Tabulación ordenamiento y procesamiento de la información

Tabla IV. **Parámetros fisicoquímicos del río Teocinte**

	Época seca					Época lluviosa				
	MESES					MESES				
Parámetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)										
DQO(mg/L)										
Oxígeno Disuelto(mg/L)										
Sólidos Suspendedos Totales(mg/L)										
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)										

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Índice fisicoquímico simplificado de la calidad del agua (ISQA)**

Época	Río La Manguita		Río La Piedrona		Río San Antonio		Planta Sta. Luisa	
	ISQA	Calidad	ISQA	Calidad	ISQA	Calidad	ISQA	Calidad
Época seca								
Época lluviosa								

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

3.8.1. Diseño experimental

El número de repeticiones en las mediciones experimentales se realiza con el objetivo de disminuir los errores aleatorios y empíricos, esto permite que las mediciones sean más precisas. Para determinar el número de corridas se tomará un valor de confiabilidad del 95 %, con una probabilidad de fracaso del 5% que implica un valor de $\alpha=0,05$. El valor $Z_{\alpha/2} = 2,06$ se obtiene de la distribución normal. El error estimado para las mediciones es de 0,20.⁴

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 * p * q}{e^2}$$

Donde:

- n = número de corridas experimentales
- $Z_{\alpha/2}$ = nivel de confianza deseado en las mediciones
- p = probabilidad de éxito
- q = probabilidad de fracaso
- e = error experimental estimado

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$n = \frac{(2,06)^2 * 0,95 * 0,05}{(0,20)^2}$$
$$n = 5,04$$

⁴ WARPOLE, Ronald. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. p. 89.

El número de repeticiones es de $n = 5,04$, es decir, se deben realizar 5 corridas para cumplir con una confiabilidad de 95 % y estimando un error del 0,20 lo que con lleva a que los resultados del experimento sean precisos.

Por lo tanto, para este trabajo de investigación se realizará la toma de 5 muestras en época seca y lluviosa.

3.8.2. Medidas de tendencia central

3.8.3. Media aritmética

La media aritmética de un conjunto de valores $\{x_1, x_2, \dots, x_i\}$ de una variable x , viene determinada por la suma de dichos valores, dividida por el número de la muestra (n), representada matemáticamente de la siguiente forma:⁵

$$x_p = \frac{\sum x_i}{n}$$

3.8.4. Medidas de dispersión

Describen la cantidad de dispersión o variabilidad que se encuentra entre los datos. El agrupamiento entre los datos indica una dispersión baja y viceversa.

⁵ JOHNSON, Robert. *Estadística elemental*. p. 64.

3.8.5. Varianza

Es la media de las desviaciones (x) al cuadrado respecto a la media aritmética (x_p) de una distribución estadística.⁶

$$S^2 = \frac{\sum (x - x_p)^2}{n - 1}$$

Donde, n es el tamaño de la muestra.

3.8.6. Desviación estándar

La desviación estándar es la raíz cuadrada positiva de la varianza. Es decir, la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las puntuaciones de desviación.⁷

$$S = \sqrt{S^2}$$

3.9. Plan de análisis de los resultados

Los resultados serán analizados mediante la prueba ANOVA y de Tuckey. Para la verificación de las diferencias significativas para la comprobación o el rechazo de hipótesis.

Un análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las

⁶ JOHNSON, Robert. *Estadística elemental*. p. 66.

⁷ Op. Cit. 67.

medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente.

Con el fin de tener mayores elementos para la toma de decisiones es importante saber dónde se encuentran dichas diferencias significativas y si estas siguen una tendencia que permita una mejor toma de decisiones. Una prueba que permite evaluar dicha diferenciación es la prueba de Tukey que mide la diferencia de los valores de las medias de dos grupos en términos de la varianza intragrupal.

Figura 2. Distribución de Tukey

TABLA 8: Cuantiles de la distribución de Tukey $q(n, m)$

$\alpha = 0.01$	2	3	4	5	6	7	$\frac{n}{8}$	9	10	11	12	13	14	15
m														
2	13.90	19.02	22.56	25.37	27.76	29.86	31.73	33.41	34.93	36.29	37.53	38.66	39.70	40.66
3	8.26	10.62	12.17	13.32	14.24	15.00	15.65	16.21	16.71	17.16	17.57	17.95	18.29	18.62
4	6.51	8.12	9.17	9.96	10.58	11.10	11.54	11.92	12.26	12.57	12.84	13.09	13.32	13.53
5	5.70	6.98	7.80	8.42	8.91	9.32	9.67	9.97	10.24	10.48	10.70	10.89	11.08	11.24
6	5.24	6.33	7.03	7.56	7.97	8.32	8.61	8.87	9.10	9.30	9.48	9.65	9.81	9.95
7	4.95	5.92	6.54	7.00	7.37	7.68	7.94	8.17	8.37	8.55	8.71	8.86	9.00	9.12
8	4.75	5.64	6.20	6.62	6.96	7.24	7.47	7.68	7.86	8.03	8.18	8.31	8.44	8.55
9	4.60	5.43	5.96	6.35	6.66	6.91	7.13	7.33	7.49	7.65	7.78	7.91	8.03	8.13
10	4.48	5.27	5.77	6.14	6.43	6.67	6.87	7.05	7.21	7.36	7.49	7.60	7.71	7.81
11	4.39	5.15	5.62	5.97	6.25	6.48	6.67	6.84	6.99	7.13	7.25	7.36	7.46	7.56
12	4.32	5.05	5.50	5.84	6.10	6.32	6.51	6.67	6.81	6.94	7.06	7.17	7.26	7.36
13	4.26	4.96	5.40	5.73	5.98	6.19	6.37	6.53	6.67	6.79	6.90	7.01	7.10	7.19
14	4.21	4.89	5.32	5.63	5.88	6.08	6.26	6.41	6.54	6.66	6.77	6.87	6.96	7.05
15	4.17	4.84	5.25	5.56	5.80	5.99	6.16	6.31	6.44	6.55	6.66	6.76	6.84	6.93
16	4.13	4.79	5.19	5.49	5.72	5.92	6.08	6.22	6.35	6.46	6.56	6.66	6.74	6.82
17	4.10	4.74	5.14	5.43	5.66	5.85	6.01	6.15	6.27	6.38	6.48	6.57	6.66	6.73
18	4.07	4.70	5.09	5.38	5.60	5.79	5.94	6.08	6.20	6.31	6.41	6.50	6.58	6.65
19	4.05	4.67	5.05	5.33	5.55	5.73	5.89	6.02	6.14	6.25	6.34	6.43	6.51	6.58
20	4.02	4.64	5.02	5.29	5.51	5.69	5.84	5.97	6.09	6.19	6.28	6.37	6.45	6.52
21	4.00	4.61	4.99	5.26	5.47	5.65	5.79	5.92	6.04	6.14	6.23	6.32	6.39	6.47
22	3.99	4.59	4.96	5.22	5.43	5.61	5.75	5.88	5.99	6.10	6.19	6.27	6.35	6.42
23	3.97	4.57	4.93	5.20	5.40	5.57	5.72	5.84	5.95	6.05	6.14	6.23	6.30	6.37
24	3.96	4.55	4.91	5.17	5.37	5.54	5.69	5.81	5.92	6.02	6.11	6.19	6.26	6.33
25	3.94	4.53	4.89	5.14	5.35	5.51	5.65	5.78	5.89	5.98	6.07	6.15	6.22	6.29
26	3.93	4.51	4.87	5.12	5.32	5.49	5.63	5.75	5.86	5.95	6.04	6.12	6.19	6.26
27	3.92	4.49	4.85	5.10	5.30	5.46	5.60	5.72	5.83	5.92	6.01	6.09	6.16	6.22
28	3.91	4.48	4.83	5.08	5.28	5.44	5.58	5.70	5.80	5.90	5.98	6.06	6.13	6.20
29	3.90	4.47	4.81	5.06	5.26	5.42	5.56	5.67	5.78	5.87	5.96	6.03	6.10	6.17
30	3.89	4.45	4.80	5.05	5.24	5.40	5.54	5.65	5.76	5.85	5.93	6.01	6.08	6.14
31	3.88	4.44	4.79	5.03	5.23	5.38	5.52	5.63	5.74	5.83	5.91	5.99	6.05	6.12
32	3.87	4.43	4.77	5.02	5.21	5.37	5.50	5.61	5.72	5.81	5.89	5.96	6.03	6.10
33	3.87	4.42	4.76	5.00	5.20	5.35	5.48	5.60	5.70	5.79	5.87	5.94	6.01	6.08
34	3.86	4.41	4.75	4.99	5.18	5.34	5.47	5.58	5.68	5.77	5.85	5.93	5.99	6.06
35	3.85	4.40	4.74	4.98	5.17	5.32	5.45	5.57	5.67	5.75	5.84	5.91	5.98	6.04
36	3.85	4.40	4.73	4.97	5.16	5.31	5.44	5.55	5.65	5.74	5.82	5.89	5.96	6.02
37	3.84	4.39	4.72	4.96	5.15	5.30	5.43	5.54	5.64	5.72	5.80	5.88	5.94	6.00
38	3.83	4.38	4.71	4.95	5.13	5.29	5.41	5.53	5.62	5.71	5.79	5.86	5.93	5.99
39	3.83	4.37	4.70	4.94	5.12	5.28	5.40	5.51	5.61	5.70	5.78	5.85	5.91	5.97
40	3.82	4.37	4.70	4.93	5.11	5.26	5.39	5.50	5.60	5.69	5.76	5.83	5.90	5.96
41	3.82	4.36	4.69	4.92	5.11	5.26	5.38	5.49	5.59	5.67	5.75	5.82	5.89	5.95
42	3.82	4.35	4.68	4.91	5.10	5.25	5.37	5.48	5.58	5.66	5.74	5.81	5.88	5.94
43	3.81	4.35	4.67	4.91	5.09	5.24	5.36	5.47	5.57	5.65	5.73	5.80	5.86	5.92
44	3.81	4.34	4.67	4.90	5.08	5.23	5.35	5.46	5.56	5.64	5.72	5.79	5.85	5.91
45	3.80	4.34	4.66	4.89	5.07	5.22	5.34	5.45	5.55	5.63	5.71	5.78	5.84	5.90
46	3.80	4.33	4.66	4.89	5.07	5.21	5.34	5.44	5.54	5.62	5.70	5.77	5.83	5.89
47	3.80	4.33	4.65	4.88	5.06	5.21	5.33	5.44	5.53	5.61	5.69	5.76	5.82	5.88
48	3.79	4.32	4.64	4.87	5.05	5.20	5.32	5.43	5.52	5.61	5.68	5.75	5.81	5.87
49	3.79	4.32	4.64	4.87	5.05	5.19	5.31	5.42	5.51	5.60	5.67	5.74	5.80	5.86
50	3.79	4.32	4.63	4.86	5.04	5.19	5.31	5.41	5.51	5.59	5.67	5.73	5.80	5.85

Fuente: Estadística. *Licenciatura en Ciencias Ambientales*.

http://matematicas.unex.es/~mota/ciencias_ambientales/tabla8.pdf. Consulta: 4 de abril de 2016.

3.9.1. Programas a utilizar en el análisis de los datos

Para los cálculos se utilizará la herramienta de Microsoft Excel.

4. RESULTADOS

Tabla VI. **Parámetros fisicoquímicos del río La Manguita**

Parámetro	Época seca					Época lluviosa				
	Mes					Mes				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Conductividad eléctrica (μS/cm)	130	133	129	126	120	106	90	97	99	93
DQO(mg/L)	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	22	39	3,4	18,1	13,5
Oxígeno disuelto(mg/L)	5,6	5,54	5,67	5,33	5,07	3,14	1,45	4,64	7,04	6,95
Sólidos suspendidos totales(mg/L)	0	48	48	1	1	0	22	3	11	9,66
Temperatura (°C)	18,36	18,48	17,27	17,46	19,03	17,99	18,47	18,03	17,79	17,88

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Parámetros fisicoquímicos del río La Piedrona**

Parámetro	Época seca					Época lluviosa				
	Mes					Mes				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Conductividad eléctrica (μS/cm)	103	133	103	99	105	106	86	99	102	100
DQO(mg/L)	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	17	17,5	5,1	31,2	14,2
Oxígeno disuelto(mg/L)	3,38	5,54	5,71	5,46	5,27	3,23	1,65	5,42	8,38	8,43
Sólidos suspendidos totales(mg/L)	0	1	1	1	1	0	49	5	9	9,6
Temperatura (°C)	19,07	18,48	18,04	18,06	19,64	18,53	18,43	18,45	18,22	18,61

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Parámetros fisicoquímicos del río San Antonio**

Parámetro	Época seca					Época lluviosa				
	Mes					Me				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Conductividad eléctrica (μS/cm)	153	232	185	182	194	187	309	258	251	286
DQO(mg/L)	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	32	34,7	30,25	19,3	35
Oxígeno disuelto(mg/L)	3,91	2,54	3,01	2,92	2,81	1,49	0,81	1,94	3,28	2,17
Sólidos suspendidos totales(mg/L)	0	1	1	41	1	0	51	7	10,3	11
Temperatura (°C)	20,58	20,22	20,8	21,38	21,18	20,79	20,53	20,33	20,33	19,66

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Parámetros fisicoquímicos de la planta Santa Luisa**

Parámetro	Época seca					Época lluviosa				
	Mes					Mes				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Conductividad eléctrica (μS/cm)	200	184	231	216	198	187	188	178	170	168
DQO(mg/L)	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	15	4,6	4,9	30	4,9
Oxígeno disuelto(mg/L)	0,84	1,4	1,22	1,21	1,4	0,91	0,38	1,89	2,92	3,35
Sólidos suspendidos totales(mg/L)	0	1	1	2	1	0	0	0,2	0,43	0,64
Temperatura (°C)	21,69	21,37	20,98	21,43	21,87	20,58	19,81	19,87	19,35	19,72

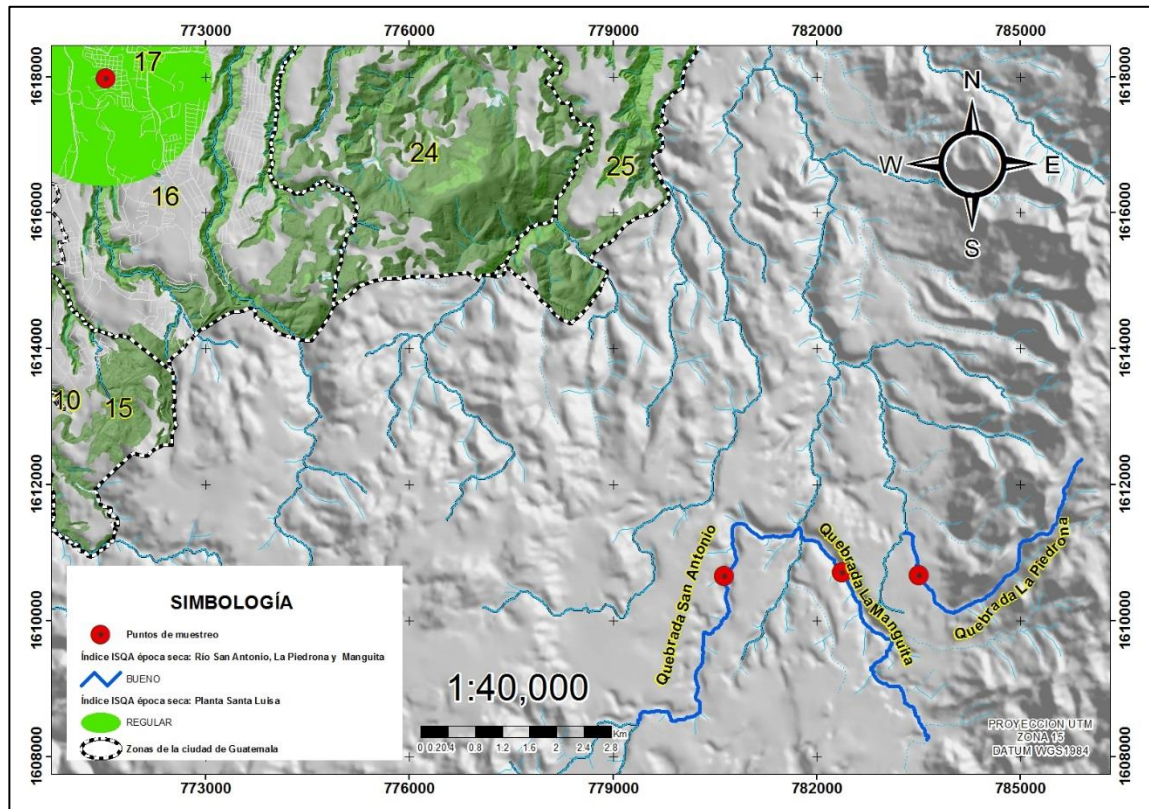
Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Índice simplificado de la calidad del agua**

Época	Río La Manguita		Río La Piedrona		Río San Antonio		Planta Sta. Luisa	
	ISQA	Calidad	ISQA	Calidad	ISQA	Calidad	ISQA	Calidad
Época seca	86,99	Buena	82,99	Buena	81,08	Buena	70,68	Regular
	79,48	Buena	86,53	Buena	75,10	Buena	72,74	Regular
	80,01	Buena	88,67	Buena	77,22	Buena	71,16	Regular
	86,37	Buena	88,31	Buena	70,64	Regular	71,02	Regular
	86,05	Buena	87,44	Buena	76,04	Buena	71,80	Regular
Época lluviosa	70,40	Regular	72,38	Regular	58,40	Regular	63,02	Regular
	58,02	Regular	62,30	Regular	45,02	Mala	71,77	Regular
	87,59	Buena	87,41	Buena	57,22	Regular	75,58	Buena
	80,32	Buena	79,19	Buena	64,12	Regular	63,83	Regular
	82,33	Buena	85,31	Buena	55,14	Regular	79,55	Buena

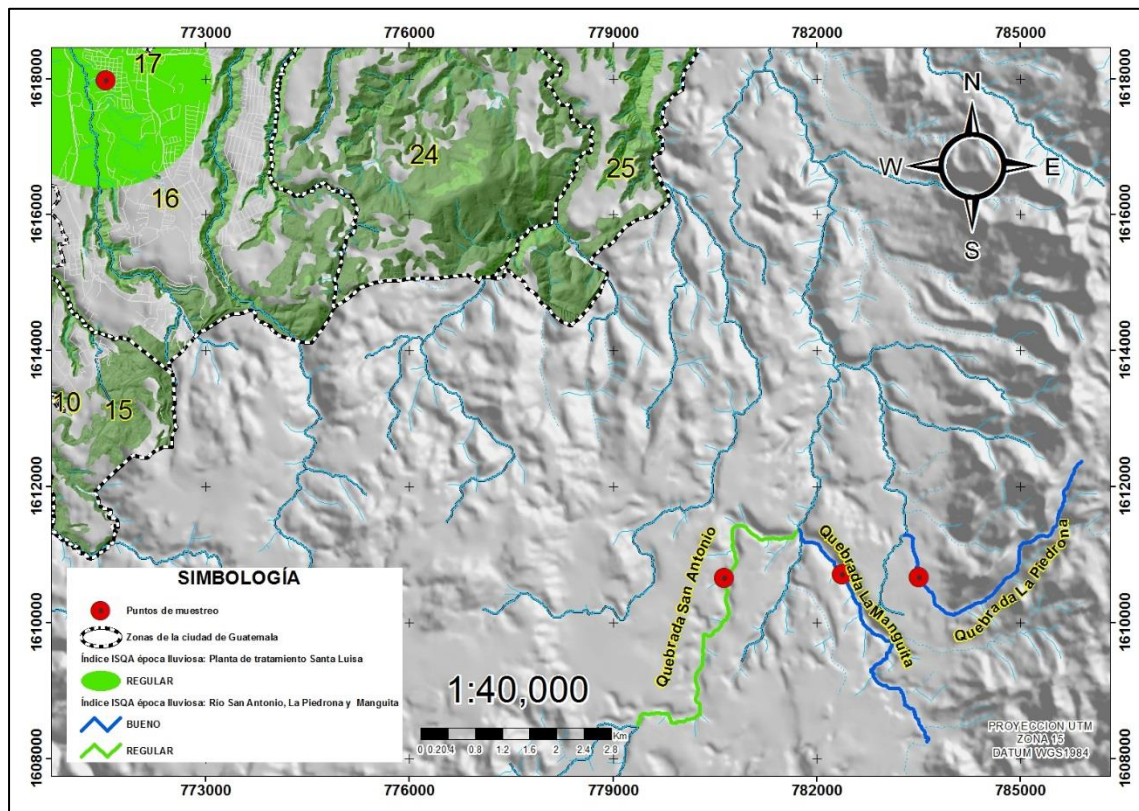
Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Mapa de la calidad del agua en época seca



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Mapa de la calidad del agua en época lluviosa



Fuente: elaboración propia.

5. INTEPRETACIÓN DE RESULTADOS

Con base en los resultados obtenidos de los parámetros que conforman el ISQA, se observa que la temperatura para los tres ramales: La Manguita, La Piedrona y San Antonio correspondientes del río Teocinte, presenta un comportamiento sin diferencia significativa tanto en época seca como en la época lluviosa.

En el caso de la conductividad eléctrica medida en el río La Manguita y La Piedrona, la tendencia es similar ya que se presentan en promedio mayores valores durante la época seca y valores más bajos en la época lluviosa. Esto debido al crecimiento de la corriente de agua que favoreció a la dilución de las sales presentes. Sin embargo, las mediciones durante la época seca para el río San Antonio fueron más bajas que en la época lluviosa, debido a que la escorrentía favoreció el enriquecimiento del agua. Asimismo, en esta parte, la descarga de material orgánico es mayor. Por tanto, en el momento de muestreo existía material húmico acomplejando los minerales.

Las mediciones realizadas de sólidos suspendidos totales (SST) para el río La Manguita tienen una tendencia no lineal en ambas épocas ya que existe una variación significativa entre las mediciones. Durante la época seca se observa que solo en dos meses existen los valores más altos debido a una gran cantidad de materiales descargados por actividad doméstica e industrial, sin embargo, en los demás meses los valores son mínimos comparados con la época lluviosa donde existe un aumento en la carga de sedimentos.

Asimismo, las mediciones para los ríos La Piedrona y San Antonio reflejan un incremento de SST en la época lluviosa.

El comportamiento de las mediciones de la demanda química de oxígeno (DQO) varió significativamente entre época seca y época lluviosa en los tres ríos. La medición promedio en época seca para los tres ríos fue constante, mientras que en época lluviosa se refleja un incremento en la medida promedio de DQO, por lo que se puede decir que la calidad del agua disminuyó significativamente debido al aumento en la cantidad de material oxidable provocado probablemente por la escorrentía a pesar de que se esperaría un proceso de dilución por la precipitación torrencial.

Por otro lado, las mediciones del oxígeno disuelto (OD) para los tres ríos presentan una disminución en época lluviosa. Tiene mayor diferencia significativa entre ambas épocas en el río San Antonio. Este parámetro está relacionado con la DQO, en consecuencia, durante la época lluviosa los valores son más bajos ya que existe la descarga por escorrentía, con lo cual aumenta el contenido en material disuelto y suspendido que incrementan el consumo de oxígeno para los procesos oxidativos.

En el caso de la planta de tratamiento Santa Luisa, los valores medidos los parámetros del ISCA no tienen variación significativa en ambas épocas. Excepto la DQO que presenta dos mediciones más altas que se salen de la tendencia en la época lluviosa. Sin embargo, para el análisis del agua potable no hay ninguna norma para la medición de DQO. Por lo que solo los demás parámetros se pueden comparar con los límites máximos permisibles de acuerdo con la norma para agua potable COGUANOR 29001. Por tanto, según esta norma, se puede decir que el agua tratada es apta para el consumo humano en todas las épocas.

Sin embargo, se observa que los valores de OD en la salida de la planta son muy bajos, debido a que el proceso de filtración se lleva a cabo mediante filtros rápidos, en los cuales al pasar un caudal a través de un lecho granular, la fricción del flujo a través de los poros produce una pérdida de carga y las partículas suspendidas del agua se depositan en los granos que hacen que los canales por donde circula el agua se obstruyan por lo que a medida que transcurre el tiempo ocurre una pérdida de carga.

En consecuencia, cualquier disminución de la presión sobre el líquido, de acuerdo con la ley de Henry, la cual establece que la concentración de un gas en un líquido depende la presión parcial sobre la solución, es decir, al disminuir la presión el gas se escapa. Por lo tanto, el oxígeno disuelto que contiene el agua es liberado y ocupa los poros del medio filtrante.

Con base en los datos obtenidos de cada parámetro, los valores del ISQA reflejan que, durante la época seca para los tres ríos, la calidad del agua es buena. En cambio, durante la época lluviosa presenta valores bajos que indican que la calidad del agua es regular, por lo que, bajo el tratamiento del agua, esta puede ser apta para consumo humano.

Por otro lado, los valores del ISQA para la planta Santa Luisa son más bajos que los valores de los ríos, debido a que el parámetro de OD según los resultados obtenidos, incide mayormente en el ISQA disminuyendo significativamente su valor. Asimismo, el DQO afecta el ISQA en la planta de tratamiento ya que para agua potable este parámetro no se debe tomar en cuenta; el ISQA no es un buen índice para determinar la calidad del agua en plantas de tratamiento de agua potable debido a que no es representativo en el análisis.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis estadístico, se rechaza la hipótesis nula ya que si hay una diferencia significativa entre los valores del índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) del agua captada del río respecto a la salida del tratamiento.

CONCLUSIONES

1. Sí fue posible determinar los cinco parámetros fisicoquímicos del índice simplificado de la calidad del agua para tres ramales del río Teocinte: ríos La Manguita, La Piedrona y San Antonio, durante la época seca y lluviosa.
2. Los valores de ISQA registran una buena calidad para los tres ramales del río Teocinte durante la época seca y una calidad regular únicamente durante la época lluviosa para los ríos la Manguita y la Piedrona. Excepto el río San Antonio que registró una calidad de mala a regular durante la época lluviosa.
3. El índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) no es apto para evaluar la calidad del agua en una planta de tratamiento potabilizadora.
4. Se determinó que existe una variación significativa entre los valores del ISQA de los tres ríos y la planta Santa Luisa.
5. La planta Santa Luisa opera de manera efectiva cumpliendo con los límites máximos permisibles que exige la Norma COGUANOR 29001.
6. Se elaboraron mapas temáticos de la calidad del agua de la microcuenca del río Teocinte utilizando un código de colores que facilita la evaluación del estado de la calidad del agua a través del tiempo (época seca y época lluviosa).

RECOMENDACIONES

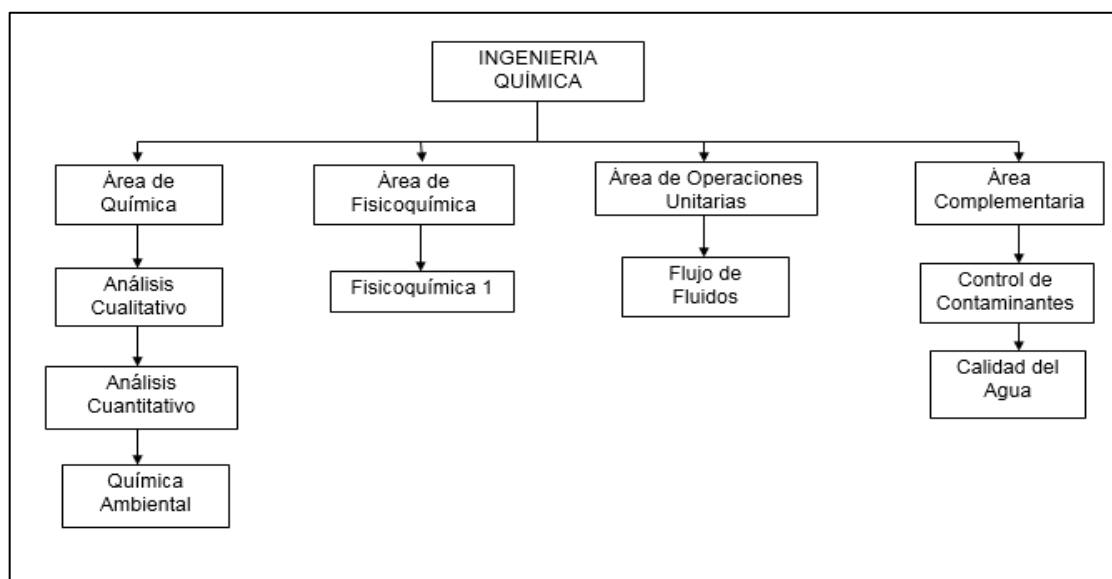
1. Debido a la disminución de oxígeno disuelto que provocan los filtros rápidos en el tratamiento del agua, es necesario realizar un proceso de aireación para aumentar los niveles de oxígeno en el agua potable y así mejorar su calidad.
2. Utilizar otro tipo de índice que permitan evaluar la calidad del agua en las plantas de tratamiento para agua potable.
3. Caracterizar el río Teocinte con más parámetros fisicoquímicos y otros microbiológicos, así como, aumentar los puntos de muestreo en el río la Manguita, La piedrona y San Antonio para tener una mejor evaluación y control de la calidad el agua de la microcuenca.
4. Se recomienda que siempre los parámetros medidos en campo sean determinados por medio de una sonda multiparamétrica para reducir la cantidad de calibraciones y, por tanto, reducir errores de procedimiento.
5. Dado que todas las mediciones del presente estudio se realizaron en horas de la mañana, cuando la temperatura se encuentre en valores pico, se recomienda que futuros estudios, empleen mediciones en la tarde para evaluar el efecto de la temperatura ambiente por causa de la insolación.

BIBLIOGRAFÍA

1. METCALF & EDDY. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. Tomo I. México: McGraw-Hill, 1996. 1485 p.
2. PÉREZ CARRIÓN, J. M. y VARGAS, Lidia. *El agua. Calidad y tratamiento para consumo humano*. Lima, Perú: Organización Panamericana de la salud, 2004. 597 p.
3. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del agua*. 2a ed. México: Alfaomega Grupo Editor S. A., 1999. 273 p.
4. TORRES, Patricia, HERNÁN CRUZ, Camila. *Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica*. Medellín, Colombia: Universidad de Medellín, 2009. 150 p.
5. WARPOLE, Ronald. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. 9a ed. México: Pearson, 2012. 816 p.

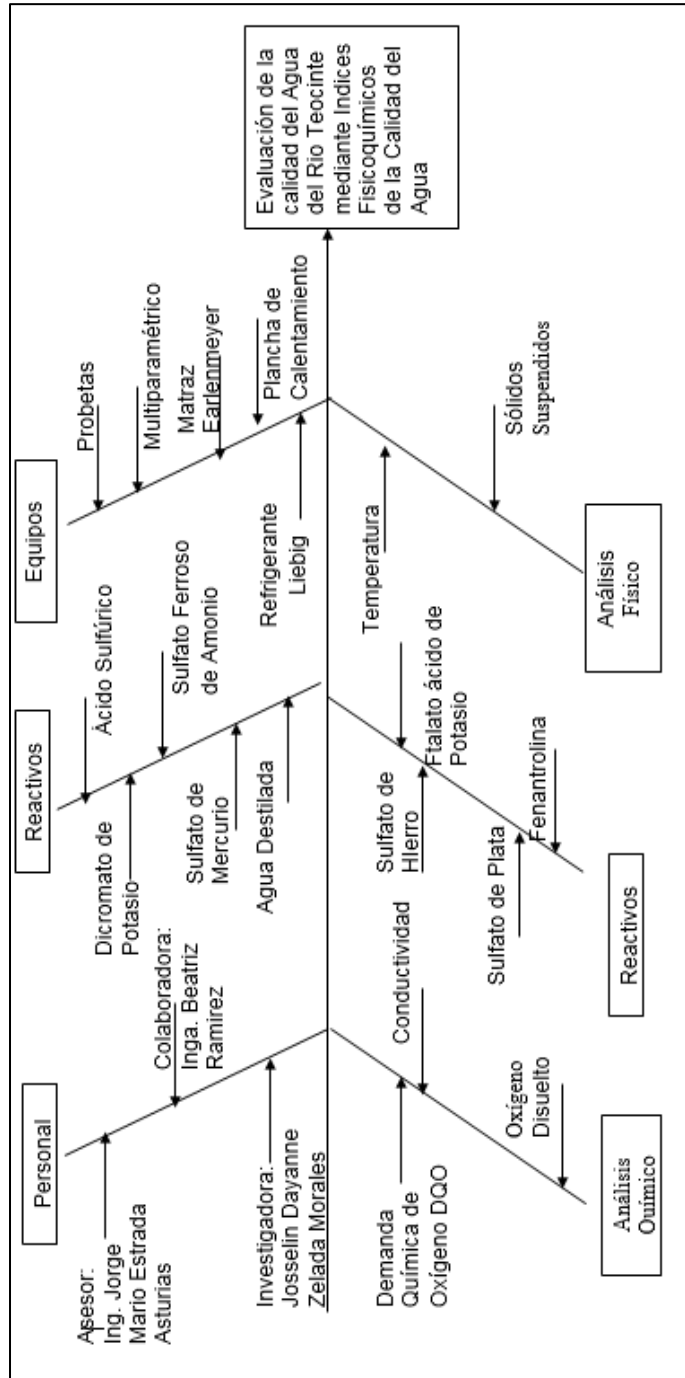
APÉNDICES

Apéndice 1. Requisitos académicos



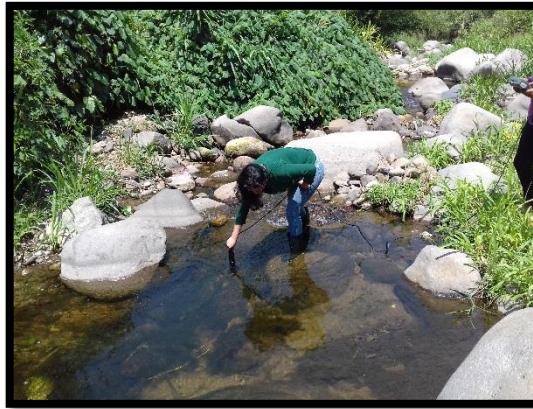
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Río Teocinte



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Medición *in situ* quebrada La Piedrona del río Teocinte



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Toma de muestra en quebrada La Manguita del río Teocinte**



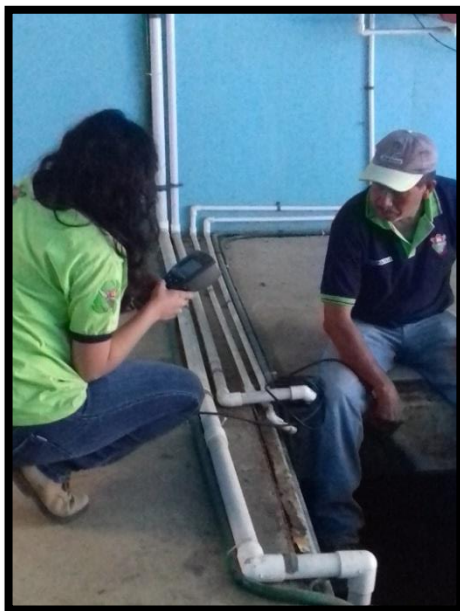
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Medición *in situ* en quebrada San Antonio del río Teocinte**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Medición *in situ* en planta potabilizadora Santa Luisa**



Fuente: elaboración propia.

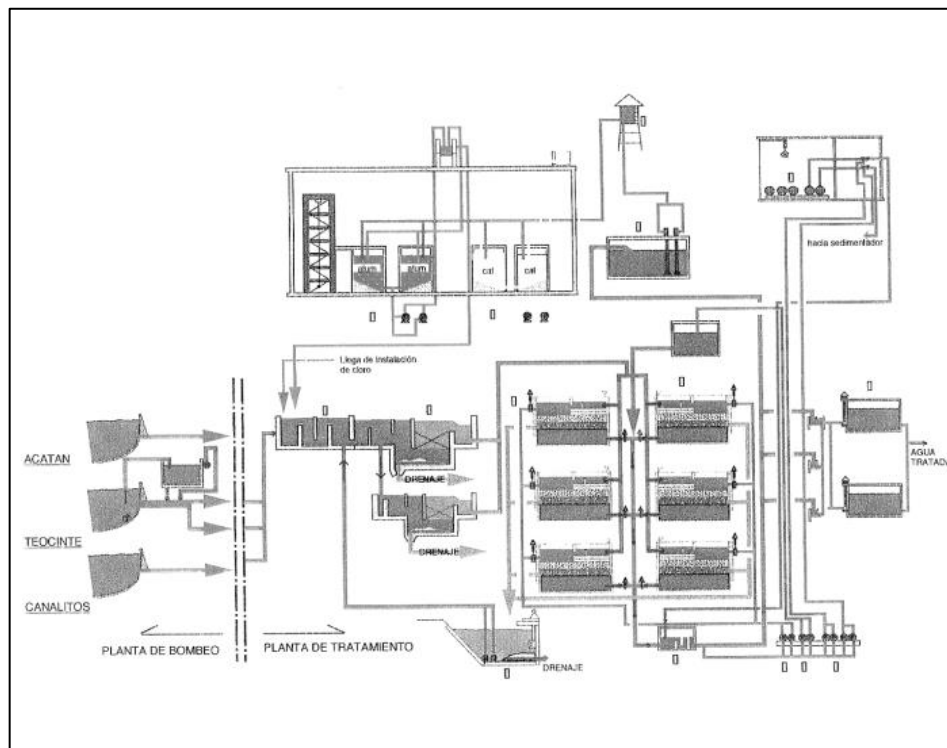
Apéndice 8. **Sonda multiparamétrica**



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Sistema Santa Luisa



Fuente: *Ministerio de obras Públicas, Gobierno de Paraguay. Estudio del diseño de la rehabilitación plantas de tratamiento Kiowa Engineering Consultants Co. Ltd. 1993. p. 68.*

