

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

CALIDAD DEL AGUA EN LA RED HIDROLÓGICA SUPERFICIAL DE
LA CIUDAD DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA,
GUATEMALA



CLAUDIA SUSSETH LÓPEZ PINTO

CHIQUIMULA, GUATEMALA, AGOSTO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

CALIDAD DEL AGUA EN LA RED HIDROLÓGICA SUPERFICIAL DE
LA CIUDAD DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA,
GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

CLAUDIA SUSSETH LÓPEZ PINTO

Al conferírsele el título de

INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

En el grado académico de

LICENCIADA

CHIQUIMULA, GUATEMALA, AGOSTO DE 2018

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**



RECTOR
M.Sc. Ing. MURPHY OLYMPO PAIZ RECINOS

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	M.Sc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
Representante de Profesores:	M.Sc. José Leonidas Ortega Alvarado
Representante de Profesores:	Lic. Zoot. Mario Roberto Suchini Ramírez
Representante de Graduados:	M.Sc. Oscar Augusto Guevara Paz
Representante de Estudiantes:	P.C. Diana Laura Guzmán Moscoso
Representante de Estudiantes:	M.E.P. José Roberto Martínez Lemus
Secretaria:	Licda. Marjorie Azucena González Cardona

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordon
Coordinador de Carrera:	M.Sc. José Ramiro García Alvarez

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

Presidente:	M.Sc. José Ramiro García Alvarez
Secretario:	M.A. Sandra Jeannette Prado Díaz
Vocal:	M.Sc. Fredy Samuel Coronado López

TERNA EVALUADORA

M.Sc. Fredy Samuel Coronado López
Lic. Químico. Abner Mardoqueo Rodas Arzét
Ing. Civil. Edwin Adalberto Lemus Pazos

Guatemala, agosto de 2018

Señores:
Consejo directivo
Centro Universitario de Oriente
Ciudad de Chiquimula

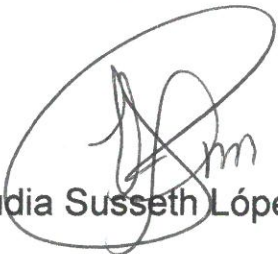
Honorable Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la ley orgánica de la universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado: **"CALIDAD DEL AGUA EN LA RED HIDROLÓGICA SUPERFICIAL DE LA CIUDAD DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA"**, como requisito previo optar el título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente:

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Claudia Susseth López Pinto



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERIA EN GESTION AMBIENTAL LOCAL



REF- JRGA-GAL-01-2018
Chiquimula, 18 de julio de 2018.

MSc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
Director CUNORI
Chiquimula, Ciudad

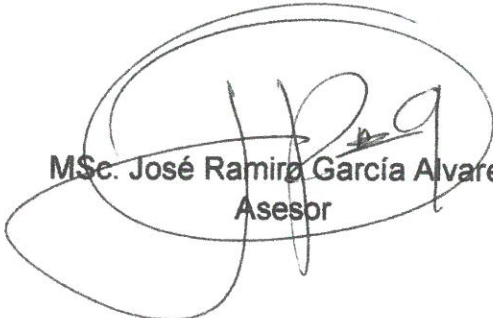
Respetable Licenciado Galdámez:

En atención a la designación efectuada por el Programa de Trabajos de Graduación de la Carrera de Gestión Ambiental Local, para asesorar a la estudiante **Claudia Susseth López Pinto** en el trabajo de investigación denominado **"CALIDAD DEL AGUA EN LA RED HIDROLÓGICA SUPERFICIAL DE LA CIUDAD DE ESQUIPULAS, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA"**, tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que he procedido a asesorar y orientar a la sustentante, sobre el contenido de dicho trabajo.

En mi opinión, el trabajo presentado reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes; razón por la cual, recomiendo la aprobación del informe final para su discusión en el Examen General Público, previo a optar al título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local , en el Grado Académico de Licenciada.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


MSc. José Ramiro García Álvarez
Asesor



cc. Archivo

D-TG-AT-092/2017

EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó la estudiante **CLAUDIA SUSSETH LÓPEZ PINTO** titulado “**CALIDAD DEL AGUA EN LA RED HIDROLÓGICA SUPERFICIAL DE LA CIUDAD DE ESQUIPULAS DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA**”, trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Gestión Ambiental Local. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como **Trabajo de Graduación** a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a treinta y uno de julio de dos mil dieciocho.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



M.Sc. Nery Waldemar Galgámez Cabrera
DIRECTOR
CUNORI – USAC



ACTO QUE DEDICO

A DIOS

Por el don de la vida, por amarme tanto, por ser la fuente de sabiduría y el pilar fundamental de mi vida, quien ha caminado a mi lado me ha guardado y hoy me permite cumplir una meta más.

A MIS PADRES

Julio Danilo López Morales e Irma Ofelia Pinto Peralta de López por su amor incondicional, por su educación enfocada en valores y principios, por su esfuerzo y apoyo brindado en cada etapa de mi vida, sin ustedes no podría cumplir este sueño, gracias papas porque sé que han dejado mucho por dármele todo. Dios los bendiga los amo.

A MI HERMANO

Fausto Julio Danilo López Pinto por ser mi compañero de alegrías y tristezas, por sus cuidados y por el apoyo moral brindado a lo largo de mi vida.

A MIS ABUELOS PATERNOS

Julio López y Elsa Morales viuda de López por sus cuidados desde pequeña y sus sabios consejos que contribuyen a mi formación.

A MIS ABUELOS MATERNOS

Alberto Pinto y Marta Peralta de Pinto por su apoyo moral, sus sabios consejos y cuidados brindados a lo largo de mi vida.

A MIS TÍOS Y TÍAS

Por el cariño brindado apoyo y ejemplo que me transmiten.

**A MIS PRIMOS Y
PRIMAS**

Gracias por compartir bellos momentos que guardo en mi memoria.

A MIS SOBRINITOS

Yonardi Marvin Johel, Ariatne Maybely y Lucia Belén por llenar de alegría mi vida.

A MIS AMIGOS

Por los buenos momentos compartidos, por su grandiosa amistad y por su apoyo moral en las diferentes etapas de mi vida.

A MIS COMPAÑEROS

Por ser parte fundamental de los años de formación, por esos bellos momentos que se transforman en recuerdos hermosos, por su amistad y apoyo.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

AL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE CUNORI

Por ser la universidad formadora de profesionales en el oriente del país contribuyendo a la educación de los guatemaltecos.

A MIS CATEDRÁTICOS

Por su preparación y el deseo de enseñar y formar en calidad profesional, por su dedicación y el apoyo brindado en cada curso impartido.

A MI ASESOR

M.Sc. Ramiro José García Álvarez por el apoyo, dedicación y orientación en el trabajo de graduación.

A MIS EVALUADORES

Por la dedicación y sugerencias brindadas en las diferentes fases de la investigación.

A LA JEFATURA DE EDUCACIÓN COOPERATIV DE COOSAJO R.L.

Por su comprensión y apoyo brindado durante el Ejercicio Profesional Supervisado EPS y en ejecución del trabajo de graduación.

A LA MUNICIPALIDAD DE ESQUIPULAS

Por el apoyo recibido en la fase de campo del trabajo de graduación

A MI PAPÁ

Por el apoyo brindado en la fase de campo del trabajo de graduación.

A P.E.M. NAÚN MARMOL

Por su apoyo en el reconocimiento del área de estudio del trabajo de graduación.

A ÁLVARO ALBERTO RECIÑOS ESTRADA Por su apoyo incondicional, comprensión y motivación, para dar siempre lo mejor de mí.

**A P.E.M
ROSSANA CHAU** Por su orientación y ayuda brindada en la realización del documento.

**A INGA. AMB
VIVIAN CECIBEL CERÓN ELÍAS** Por el apoyo brindado en la primera fase del análisis físico-químico y bacteriológico del agua, realizado en el laboratorio ambiental de CUNORI.

A TODOS LOS PRESENTES Gracias por acompañarme en este día especial.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE GRAFICAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. OBJETIVOS	6
5. MARCO TEÓRICO	7
5.1 Red hidrológica	7
5.2 Cuenca hidrográfica	7
5.3 Agua para consumo humano	7
5.4 Calidad del agua	7
5.5 Característica del agua	8
5.6 Agua superficial	13
5.7 Principales contaminantes del agua	13
5.8 Formas de contaminación del agua	15
5.9 Índice de calidad del agua	16
6. MARCO REFENCIAL	19

6.1	Municipio de Esquipulas	19
6.2	Vías de acceso	19
6.3	Clima	20
6.4	Zonas de vida	20
6.5	Hidrología	21
6.6	Cuencas y microcuencas del municipio	24
6.7	División política y administrativa	24
6.8	Habitantes del municipio	25
6.9	Investigaciones relacionadas con el tema	26
7.	MARCO METODOLÓGICO	29
7.1	Determinación del área de estudio	29
7.2	Identificación de la red hidrológica superficial	29
7.3	Determinación de los puntos de descarga de aguas residuales en la red hidrológica superficial ciudad de Esquipulas.	29
7.4	Establecimiento de los puntos de muestreo	30
7.5	Técnica de recolección de las muestras de agua	33
7.6	Parámetros a evaluar	35
7.7	Métodos a emplear para la determinación de los parámetros a nivel de laboratorio	37
7.8	Estimación de la calidad del agua general (ICA)	39
7.9	Estimación del índice de calidad del agua para diferentes usos	47
7.10	Análisis de la información	48

7.11	Período de monitoreo de la calidad del agua de la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas	48
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
8.1	Puntos de monitoreo establecidos sobre la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas	49
8.2	Identificación de puntos de descarga de aguas residuales sobre la red hidrológica superficial	52
8.3	Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos evaluados sobre la red hidrológica superficial	55
8.4	Estimación del Índice de Calidad del Agua ICA sobre la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas	71
8.5	Estimación del Índice de Calidad del Agua para diferentes usos	80
8.6	Contaminación de la red hidrológica superficial ciudad de Esquipulas	83
9.	CONCLUSIONES	86
10.	RECOMENDACIONES	88
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
12.	ANEXOS	84

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadros	Títulos	Páginas
1	Rangos de contaminación de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes.	10
2	Porcentaje de área que cubren las zonas de vida en Esquipulas.	21
3	Zonas, colonias y residenciales del área urbana de Esquipulas	25
4	Importancia de los puntos de control en la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas	31
5	Peso relativo para cada parámetro del -ICA-	40
6	Solubilidad de oxígeno en agua dulce	46
7	Cálculo del Índice de Calidad del Agua -ICA-	46
8	Ubicación de los puntos de control de la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas 2017.	50
9	Puntos de descarga de aguas residuales a la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.	53
10	Resultados del aforo realizado en los puntos de descarga de tipo primario de aguas residuales sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.	55
11	Promedio de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos evaluados en la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas	56
12	Valores por monitoreo y promedio de temperatura del agua, en la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas.	58

13	Valores por monitoreo y promedio de pH, sobre la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas.	59
14	Valores por monitoreo y promedio de oxígeno disuelto, en la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas.	60
15	Valores por monitoreo y promedio de oxígeno disuelto en % SAT, en la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas.	62
16	Valores por monitoreo y promedio de conductividad eléctrica del agua, en la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas	63
17	Valores por monitoreo y promedio de sólidos totales, analizados sobre la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas	64
18	Valores por monitoreos y promedio de turbidez, analizados sobre la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas	65
19	Valores por monitoreo y promedio de sólidos totales disueltos, analizados sobre la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas	66
20	Valores por monitoreo y promedio de la demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅ , analizados sobre la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas	58
21	Valores por monitoreos y promedio de nitratos, analizados sobre la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas	69
22	Valores por monitoreos y promedio de fosfatos, analizados sobre la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas	70

23	Valores por monitoreos y promedio de coliformes totales, fecales y <i>Escherichia coli</i> analizados sobre la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas	71
24	Índice de calidad del agua en los puntos de control establecidos en la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas	72
25	Valores por monitoreo y promedios de la clasificación de la calidad del agua propuesta por Brown (1970)	73
26	Criterios de uso de la calidad de los 16 puntos de control de la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas.	81
27	Diferencia de calidad en la red hidrológica al pasar por la ciudad de Esquipulas.	54

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica	Título	Página
1	Calidad del agua red hidrológica superficial ciudad de Esquipulas	75
2	Calidad del agua red hidrológica superficial ciudad de Esquipulas	76
3	Calidad del agua red hidrológica superficial ciudad de Esquipulas	77
4	Calidad del agua de acuerdo a los valores promedio del ICA en la red hidrológica superficial ciudad de Esquipulas	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Valoración de la calidad del agua en función de coliformes fecales	41
2	Valoración de la calidad del agua en función de pH	42
3	Valoración de la calidad de agua en función de DBO ₅	42
4	Valoración de la calidad de agua en función de nitratos	43
5	Valoración de la calidad de agua en función de fosfatos	43
6	Valoración de la calidad de agua en función de temperatura	44
7	Valoración de la calidad de agua en función de turbidez	44
8	Valoración de la calidad de agua en función de sólidos disueltos totales	45
9	Valoración de la calidad de agua en función del % de saturación	45
10	Criterios generales de calidad del agua según el uso	48
11	Mapa de la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas	51
12	Mapa de los puntos de control establecidos sobre la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas	52
13	Puntos de descarga de aguas residuales	54
14	Representación del Índice de Calidad del Agua primer monitoreo.	75
15	Representación del Índice de Calidad del Agua segundo monitoreo.	77

16	Representación del Índice de Calidad del Agua tercer monitoreo	78
17	Representación del promedio del Índice de Calidad del Agua en los tres monitoreos realizados durante el año 2017 en la ciudad de Esquipulas.	80

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Esquipulas, uno de los 11 municipios del departamento de Chiquimula, que se ubica a 56.8 km de la cabecera departamental y 226 km de la ciudad capital de Guatemala, localizado en la zona trinacional donde convergen los límites territoriales de las naciones de Guatemala, Honduras y el Salvador.

La investigación tiene como objetivo determinar la calidad del agua en la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas. Sobre la red hidrológica se establecieron 16 puntos de control, tomando como criterio el inicio del paso de una corriente superficial por la ciudad, las uniones con otras corrientes dentro de la ciudad y la desembocadura con la fuente principal. Se realizaron 3 monitoreos en los meses de abril, julio y septiembre del año 2017, con la finalidad de evaluar la influencia que tiene las descargas de aguas residuales de la ciudad en la calidad del agua.

La red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas está comprendida por los ríos Tepoctún, Santiago, Chacalapa o Los Milagros y Quebrada Oscura, los que se unen en un mismo punto y dan inicio a un tramo del río conocido como Los Espinos en las afueras de la ciudad de Esquipulas, mismo que aguas abajo se une al río Olopita el nace en las montañas de Olopa.

En los tres monitoreos se recolectaron muestras de agua para análisis físicos, químicos y bacteriológicos, en los que se determinaron parámetros a nivel de campo como pH, conductividad, temperatura ambiente, temperatura del agua y oxígeno disuelto y saturación de oxígeno; y a nivel laboratorio se evaluaron, nitratos, fosfatos, solidos totales, turbidez, Demanda Biológica de Oxígeno -DBO₅-, coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*.

La determinación de los parámetros químicos, físicos y bacteriológicos se analizaron en el laboratorio ambiental de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental del Centro Universitario de Oriente CUNORI. Considerando las recomendaciones necesarias para

evaluar cada parámetro, propuestas por Estándar Métodos para el análisis de la calidad del agua.

Uno de los objetivos establece representar el patrón de distribución de los puntos de descarga de aguas residuales sobre la red hidrológica, donde se determinaron 13 puntos de descarga de aguas residuales, 6 corresponden a los de tipo de distribución “primaria”, 5 al tipo de distribución “segundarias” y 2 al tipo de distribución “Terciarias”.

Otro de los objetivos planteados en la investigación fue determinar la calidad del agua superficial en la ciudad de Esquipulas mediante la metodología del Índice de Calidad del Agua -ICA-. Donde la calidad del agua de la red hidrológica superficial es “Regular”, las condiciones que presenta limitan el acceso y el consumo directo de agua.

Para determinar la contaminación que provocan las aguas residuales en la red hidrológica superficial de la ciudad, se utilizaron los resultados del -ICA- en cada punto de control, estableciendo la diferencia del -ICA- entre el primer y último punto de control en cada uno de los ríos bajo estudio, donde los ríos Tepoctún y Chacalapa presentan una disminución notable de la calidad, debido a las múltiples descargas de aguas residuales que recibe de la ciudad, es importante mencionar que debido al recorrido de los diferentes ríos, a procesos biológicos y a corrientes superficiales con mejor calidad el agua no se detectaron alteraciones significativas a la calidad del agua en el río Olopita, es decir este mantiene una calidad del agua similar.

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país con diversidad natural y abundancia del recurso hídrico, las fuentes de agua son capaces de abastecer la demanda potable y agrícola. Las corrientes superficiales se ven en condiciones de vulnerabilidad, producto de múltiples amenazas que alteran su calidad y disponibilidad.

Las amenazas de contaminación provienen principalmente de microorganismos y sustancias químicas de origen natural, que se derivan de causas antrópicas, especialmente por emisiones puntuales de descargas de aguas residuales de los poblados y por las actividades agrícolas e industriales.

Esquipulas es uno de los municipios que conforman la Región Trifinio, la importancia de una adecuada administración y conservación del recurso hídrico, deriva que esta región conforma la parte alta de la cuenca del río Lempa, que drena sus aguas a los países vecinos de Honduras y El Salvador, siendo esta la fuente principal de abastecimiento de agua para diversos usos (CTPT, 2009). El recurso agua es una prioridad, por lo que es necesario que se administre eficientemente y se desarrollen estudios que permitan proponer acciones para la gestión integral, garantizando la disponibilidad del recurso para las futuras generaciones y mejorando las condiciones actuales del recurso.

El presente estudio se realizó con el propósito de determinar las características físicas, químicas y biológicas sobre la red hídrica de la ciudad de Esquipulas, conformada por las corrientes superficiales que atraviesan el casco urbano, identificando los principales puntos de descarga de aguas residuales, para generar información principalmente para las autoridades competentes, que permita la toma de decisiones y planteamiento de estrategias que contribuyan a mejorar la gestión del recurso hídrico.

El presente documento está conformado por marco teórico que contiene los conceptos utilizados en el desarrollo del documento y que ayudan a comprender la descripción del mismo. Contiene también marco referencial, con los aspectos físicos, biofísicos, sociales y demográficos del área donde se llevó a cabo el estudio, un marco metodológico que contiene la metodología empleada para el alcance de los objetivos planteados en la investigación y finalmente el análisis y discusión de resultados obtenidos producto del trabajo de campo.

El estudio se llevó a cabo en el área urbana de la ciudad de Esquipulas en el año 2017, las actividades de recolección de muestras se realizaron en tres monitoreos correspondientes a los meses de abril, julio y septiembre, los análisis de calidad del agua se obtuvieron en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente CUNORI, el mismo año. La redacción, discusión, análisis y revisión se realizó en el primer semestre del año 2018.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mundo entero afronta una problemática en común, la cantidad y la calidad del agua. A pesar de que el 70% de la constitución del planeta es agua, de esta solo el 3% es apta para el consumo; sin embargo, no está disponible en su totalidad, lo que cada vez se despierta un mayor interés por estudiar los parámetros que definen la calidad de las fuentes hídricas y su aprovechamiento.

A través de la historia observamos como el agua es el motor de desarrollo, pues esta es vital para la vida de los seres vivos. En varias regiones de Guatemala la época seca representa angustia y limitante para la realización de diversas actividades, ya que las fuentes de agua superficiales en mayoría disminuyen su caudal hasta desaparecer.

Según Perfil Ambiental de Guatemala del año 2006, uno de los principales problemas ambientales es la contaminación de recurso hídrico por diversas causas, entre ellas la descarga de agua servidas proveniente de usos domésticos y depósitos clandestinos de desechos sólidos anexos a una fuente de agua natural (IARNA, URL e IIA 2006). 10 de las 11 ciudades y villas que conforman el departamento de Chiquimula vierten las aguas servidas sin ningún tipo de tratamiento a las corrientes superficiales, provocando la contaminación del agua superficial y subterránea, a tal grado que no son aptas para consumo humano.

En los últimos años se ha observado que la población de la ciudad de Esquipulas ha aumentado de manera representativa, según el Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial Municipal de Esquipulas para el 2013 era de 41,846 habitantes. La población de la ciudad demanda diariamente abundantes bienes y servicios, con el objetivo de satisfacer las necesidades, generando desechos sólidos y líquidos que son depositados en los basureros municipales y clandestinos, así como en las corrientes de agua superficial que atraviesan la red hídrica de la ciudad.

Las aguas residuales de origen domiciliar producidas por las 5,852 viviendas y más de 30,000 habitantes de la ciudad de Esquipulas son vertidas sin ningún tratamiento en la red hidrológica, a través de un sistema de alcantarillado, conectándose directamente a

los siguientes ríos: Los Arcos, Santiaguito, Quebrada Oscura y río Chacalapa o como comúnmente se le conoce como Los Milagros; mismos que atraviesan la ciudad, alterando el paisaje y provocando olores desagradables en su recorrido.

Es importante indicar que en la ciudad de Esquipulas el componente ambiental ha pasado desapercibido por múltiples razones; como el desinterés político o simplemente por el desconocimiento de la contaminación que provocan las aguas residuales depositadas directamente a los afluentes. Esta situación se expande cada día más debido a la falta de una normativa a nivel municipal, lo cual provoca que cualquier persona, comunidad o centro poblado descargue los desechos líquidos y sólidos sobre los ríos, razón por la cual el recurso ya no puede ser utilizado para otros fines como domésticos, de producción, recreación y consumo humano.

Bajo esta situación, el recurso día a día se presenta con escasez y con menor calidad, razón por la que muchas instituciones nacionales e internacionales suman esfuerzos para detener la acelerada alteración que recibe el recurso; invirtiendo en investigaciones y formulando estrategias encaminadas a planes de acción para combatir los problemas identificados.

La ciudad de Esquipulas está rodeada por dos fuentes importantes que se unen en un punto específico, siendo estas el río Olopita y el río Atulapa. Sin embargo, por la ciudad se desprende una red hídrica de la cual no se tienen reportes de su calidad y ubicación específica, así como de las fuentes puntuales de contaminación. Debido a la importancia de esta red para la Región Trifinio, se plantea una línea de investigación que pretende responder a la problemática actual y poder así emprender acciones para su corrección.

3. JUSTIFICACIÓN

El agua es el líquido vital para la ejecución de múltiples actividades realizadas por el hombre para su subsistencia, es también un bien público, y en algunos casos se ha convertido en la fuente de propagación de microorganismos patógenos que afectan la salud de quienes se sirven directamente de estas fuentes, razón por la que se debe lograr un equilibrio hidrológico que asegure su abastecimiento de calidad a la población, haciendo uso eficiente del recurso.

La red hidrológica que atraviesa la ciudad de Esquipulas es utilizada como medio de irrigación de aguas servidas municipales y desechos sólidos, alterando la calidad del recurso y generando olores desagradables en todo su cauce. Estas corrientes actualmente no reciben ningún tipo de tratamiento antes de ser vertidas al río Olopita, mismo que da origen a la cuenca del río Lempa.

Es necesario realizar una investigación que permita identificar las fuentes puntuales de contaminación, las posibles descargas de aguas servidas en volumen y calidad, así como su ubicación geográfica, realizando monitoreos constantes para determinar el grado de influencia que tienen la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas sobre el río Lempa.

Los resultados permitirán determinar el grado de contaminación que provocan las aguas servidas, a la red hidrológica de la ciudad. Los análisis de la investigación contribuyen en la toma de decisiones por parte de las autoridades del municipio, para definir en un corto plazo políticas y estrategias municipales que disminuyan la contaminación existente en este sistema hidrológico.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Determinar la contaminación provocada por las aguas residuales en la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas, para la gestión integral del recurso hídrico.

4.2 Objetivos específicos

- Identificar la red hidrológica superficial que conforma la ciudad de Esquipulas.
- Representar el patrón de distribución de los puntos de descarga de aguas residuales sobre la corriente superficial en la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas.
- Determinar la calidad del agua superficial en la ciudad de Esquipulas mediante el Índice de Calidad del Agua -ICA-.
- Determinar la contaminación que provocan las aguas residuales en la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Red hidrológica

Una red hidrológica es un sistema de circulación lineal, jerarquizado y estructurado que asegura el drenaje de una cuenca, es todo el conjunto de ríos y sus afluentes que se encuentran interconectados entre sí, formando una especie de red, de allí deriva este nombre (Enciclopedia Libre Universal en español 2012). En geomorfología, la red de drenaje se refiere a la red natural de transporte gravitacional de agua, sedimento o contaminantes, formada por ríos, lagos y flujos subterráneos (Rodríguez y Lozano s.f.).

5.2 Cuenca hidrográfica

Las cuencas hidrográficas son espacios territoriales delimitados por un parteaguas (partes más altas de montañas), donde se concentran todos los escurrimientos que fluyen y desembocan en un punto común llamado punto de salida de la cuenca, que puede ser un lago (formando una cuenca denominada endorreica) o el mar (llamada cuenca exorreica). Las cuencas hidrográficas son utilizadas como unidades para la planificación territorial y se subdividen en áreas menores llamadas subcuencas y microcuencas. Estas divisiones se marcan por los ríos y riachuelos que las integran (CTPT 2009).

5.3 Agua para consumo humano

El agua la podemos considerar como el recurso natural de mayor importancia, por ser vital para la vida, la calidad del agua para el consumo humano depende de las condiciones ambientales de la zona en donde se encuentran las fuentes de agua. Por esta razón hay que preocuparse por preservar y mantener libre de contaminantes el área natural que brinda la fuente de agua; el agua para consumo humano es aquella que, al consumirla, no causa daño a la salud, para lo cual debe cumplir con los requisitos físicos, químicos y microbiológicos indicados (ONU-DAES 2014).

5.4 Calidad del agua

Calidad del agua es un término usado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua. La calidad del agua depende principalmente del uso que se le va a dar (ONU-DAES 2014). En el caso del agua potable, estas normas se establecen para

asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables (OMS 2017).

5.5 Características del agua

El agua posee una alta reactividad que se pone de manifiesto en su poder de disolución de materiales. Un proceso de disolución implica el cambio en características físicas, químicas y biológicas de la disolución. Los análisis de agua son necesarios para determinar aquellos constituyentes que pueden causar dificultades para su evacuación y escoger así el tratamiento previo más adecuado si fuera necesario (Salazar 2016). Las principales características que interfieren en la calidad del agua son las siguientes:

5.5.1 Características físicas del agua

Son todas aquellas características sensoriales, es decir que pueden ser detectadas por los sentidos y que influyen en la aceptación o el rechazo del agua por el consumidor y por lo tanto determinan su calidad. Las siglas LMA (Límite Máximo Aceptable), se refiere a valores de parámetros no detectados por el consumidor, o si las detecta son consideradas despreciables; las siglas LMP (Límite Máximo Permisible) refiriéndose a valores máximos de parámetros que están por arriba de los cuales el agua es considerada como no potable (COGUANOR 1985).

a. Temperatura

Es una variable física muy importante que define la vida en el medio acuático, influye en el metabolismo y procesos de los organismos, como productividad primaria, respiración de los organismos y descomposición de la materia orgánica. Las descargas de agua a altas temperaturas pueden causar daños a la flora y fauna de las aguas receptoras al interferir con la reproducción de las especies, incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos, acelerar las reacciones químicas, reducir los niveles de oxígeno y acelerar la eutrofización (Boy 1989).

b. Turbidez

La turbidez es una medida del grado, en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión; es decir mide la claridad del agua y su disponibilidad para el consumo. La turbidez puede impactar los ecosistemas acuáticos al afectar la fotosíntesis, porque limita el paso de la luz, afecta también la respiración y la producción de la vida acuática. Algunas causas que pueden afectar la turbidez en el agua son: las descargas de aguas servidas, el crecimiento de algas, el fitoplancton (plantas microscópicas) y la escorrentía urbana (González 2011).

c. Color, olor y sabor del agua

Son lo que se denomina propiedades organolépticas o determinables por los sentidos. No suelen ser una medida precisa del nivel de contaminación, aunque su presencia es un indicio de que la depuración de un efluente no está siendo correcta. Tiene gran importancia en aguas potabilizables, por el rechazo que puede darse en el consumidor al detectar colores, olores o sabores que no asocie con “agua pura” (Boy 1989).

5.5.2 Características químicas

Las características químicas del agua están terminadas por la cantidad de material mineral y orgánico presente, que definen su calidad como tal (COGUANOR 1985).

a. Oxígeno disuelto

En un cuerpo de agua se produce y a la vez se consume oxígeno. La producción de oxígeno está relacionada con la fotosíntesis, mientras el consumo dependerá de la respiración, descomposición de sustancias orgánicas y, otras reacciones químicas. También puede intercambiarse oxígeno con la atmosfera por difusión o mezcla turbulenta. La concentración total de oxígeno dependerá del balance entre estos fenómenos. Si es consumido más oxígeno que el que se produce y capta en el sistema, la disposición de oxígeno disuelto caerá, pudiendo alcanzar niveles por debajo de los necesarios para la vida de muchos organismos (Goyenola 2007).

Cuadro 1. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes.

Concentración de oxígeno disuelto		
OD mg/L	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0 a 5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles.
5 a 8	Aceptable	Oxígeno disuelto adecuado para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.
8 a 12	Buena	
≥ 12	Sobresaturada	Sistema en plena producción fotosintética.

Fuente: Goyenola (2007).

b. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del agua en general se define como el flujo de electricidad a través de un conductor es debido a un transporte de electrones. Según la forma de llevarse a cabo este transporte, los conductores eléctricos pueden ser de dos tipos: conductores metálicos o electrónicos y conductores iónicos o electrolíticos. La conductividad eléctrica (CE) de una disolución puede definirse como la aptitud de ésta para transmitir la corriente eléctrica, y dependerá, además del voltaje aplicado, del tipo, número, carga y movilidad de los iones presentes y de la viscosidad del medio en el que éstos han de moverse. En disoluciones acuosas, y puesto que su viscosidad disminuye con la temperatura, la facilidad de transporte iónico o conductividad aumentará a medida que se eleva la temperatura (Julk s.f.).

c. Dureza

El agua que contiene una concentración relativamente alta de Ca^{++} , Mg^{++} y otros cationes divalentes se conoce como agua dura. Aunque la presencia de estos iones no constituye en general una amenaza para la salud, puede hacer que el agua sea inadecuada para ciertos usos domésticos e industriales. Por ejemplo, estos iones reaccionan con los jabones para formar una nata de jabón insoluble, que es lo que forma los anillos de las tinas de baño (Guevara 2015).

d. **pH**

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H^+) en una sustancia. La acidez es una de las propiedades más importantes del agua. El agua disuelve casi todos los iones. El pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua. El resultado de una medición de pH viene determinado por una consideración entre el número protones (iones H^+) y el número de iones hidroxilo (OH^-). Cuando el número de protones iguala al número de iones hidroxilo, el agua es neutra. Tendrá entonces un pH alrededor de 7. El pH del agua puede variar entre 0 y 14. Cuando el pH de una sustancia está por debajo de 7, es una sustancia ácida. Cuando más se aleje el pH por encima o por debajo de 7, más básico o ácido será la solución (Lenntech 1998-2018).

e. **Sólidos suspendidos totales** (López *et al.* 2014)

Los sólidos suspendidos son aquellos visibles y por lo regular flotan en las aguas residuales entre la superficie y en fondo, estos pueden ser removidos por diferentes medios, que pueden ser físicos o mecánicos a través de algún proceso de sedimentación o filtración. Los sólidos suspendidos totales (SST) son la fracción de sólidos totales (ST) retenido en un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica, es importante tomar en cuenta el tamaño de poro y tipo de papel filtro a utilizar.

La principal naturaleza de los sólidos suspendidos es orgánica; además estos están formados por algunos de los materiales más objetables contenidos en el agua residual. Se atribuye a que la mayor parte de los sólidos suspendidos en el agua residual son desechos humanos, como desperdicios de alimentos, papel, trapos, entre otros. Que llegan a formar una masa de sólidos suspendidos en el agua.

f. **Nitratos**

Los nitratos son compuestos químicos inorgánicos derivados del nitrógeno (NO_3^-) que se encuentran de manera natural en pequeñas concentraciones en el suelo, los alimentos y las aguas superficiales y subterráneas. El incremento de concentración en las aguas de este compuesto en el agua se produce eminentemente en zonas de gran producción

agrícola por la utilización masiva de abonos nitrogenados, históricamente aplicados en mayor cantidad de la que los cultivos pueden absorber. Hay que señalar también que los vertidos de aguas residuales y excrementos animales en zonas de ganadería intensiva pueden constituir también una fuente de nitratos en el agua (FACSA 2017).

g. **Demanda biológica de oxígeno DBO**

La DBO es una medida de la materia orgánica en el agua, expresada en mg/L. Es la cantidad de oxígeno disuelto que se requiere para la descomposición de la materia orgánica presentes en una muestra de agua. Las muestras se encubran a 20 °C por un período de cinco días, en ausencia de luz (Guevara 2015).

La demanda biológica de oxígeno (DBO5) es la cantidad de oxígeno usado por las bacterias bajo condiciones aeróbicas en la oxidación de materia orgánica para obtener CO₂ y H₂O. Esta prueba proporciona una medida de la contaminación orgánica del agua, especialmente de la materia orgánica biodegradable (Boy 1989).

h. **Sulfatos**

Puede decirse, por lo tanto, que las sales que forman un ácido sulfúrico reciben el nombre de sulfatos. Estas sales se componen de cuatro átomos de oxígeno que rodean un átomo de azufre ubicado en el centro. El sulfato se puede encontrar en casi todas las aguas que son naturales. Es importante determinar que una excesiva presencia del citado elemento en el agua puede provocar que la persona que toma esa bebida acuda mucho más al baño de lo habitual. Y es que tiene un poder laxante. Se establece, por parte de la Unión Europea, que el máximo de sulfato en el agua para el consumo humano debe ser de 250 mg/l. Si la cantidad es mayor no sólo puede ser perjudicial para la salud, sino que, además, puede provocar que el agua al beberse tenga un sabor realmente amargo (Pérez y Merino 2014).

5.5.3 Características bacteriológicas

En el agua encontramos una enorme diversidad de microorganismos y es complicado poder determinar cuáles son los buenos y cuáles son los malos. Por este motivo se establecen distintos criterios para determinar si el agua es apta para uso humano y el

más importante desde el punto de vista microbiológico es la presencia de bacterias coliformes. Estas bacterias son las que se encuentran generalmente en el tracto intestinal, tales como *Escherichia coli*, y se utilizan como indicador de contaminación debido a que, si se encuentran presentes en el agua, esto significa que hay desechos fecales en el agua y no puede ser considerada como de buena calidad (COGUANOR 1985).

5.6 Agua superficial (CTPT 2009)

Aguas superficiales son aquellas que circulan sobre la superficie del suelo. Esta se produce por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas. Pueden presentarse formando corrientes como en el caso ríos y arroyos, lagos, reservorios, embalses, lagunas, humedales, estuarios, océanos y mares.

La calidad del agua superficial en ríos y arroyos, lagos, estanques y humedales está determinada por las interacciones entre el suelo, los sólidos transportados (orgánicos, sedimentos), las rocas, el agua subterránea y la atmósfera. También puede ser afectada significativamente por las actividades agrícolas, industriales, y de extracción minera y energética, urbanas y otras actividades antrópicas, así como por aportes atmosféricos.

5.7 Principales contaminantes del agua (CTPT 2009)

5.7.1 Agentes patógenos

Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, entre otras. Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiera a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que el agua para beber tenga 0 colonias de coliformes por 100 ml de agua. Los mas comunes son las coliformes, la bacteria *Escherichia coli*, como también hongos, bacterias y algas, presentes en el agua.

5.7.2 Desechos orgánicos

Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos y animales. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias que usan oxígeno para biodegradarlos (aeróbicas).

Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto, o la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno).

5.7.3 Sustancias químicas inorgánicas

En este grupo se incluyen los ácidos, sales y metales tóxicos (mercurio, plomo), los cuales afectan la calidad del agua. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas.

5.7.4 Sustancias químicas orgánicas

En este grupo se incluye el petróleo, plásticos, plaguicidas, detergentes que acaban en el agua y permanecen largos períodos de tiempo lo cual provoca una amenaza en la vida acuática.

5.7.5 Sedimentos y materiales suspendidos

Son partículas de suelo o sólidos de basura que se acumulan en el fondo de depósitos o corrientes de agua. Son en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales y ríos.

5.7.6 Nutrientes vegetales inorgánicos

Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los

microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es agua maloliente e inutilizable.

5.8 Formas de contaminación del agua (Barrios *et al.* 2009)

La guía de orientación en saneamiento básico para alcaldías en municipios rurales y pequeñas comunidades realizada por (Barrios *et al.* 2009) establece que los contaminantes tienen un impacto significativo en los problemas de calidad del agua, sin embargo, normalmente son de difícil definición y cuantificación, por ese motivo muchas veces los programas de control no las tienen en consideración adecuadamente. Las formas de contaminación que se encuentran en la guía se dividen en dos tipos:

5.8.1 Fuentes puntuales

Son las descargas en puntos definidos, como las descargas de emisores de desagües, industrias, etc. Los desagües domésticos presentan una gran cantidad de contaminantes que pueden provocar daños al ambiente, por ese motivo deben ser tratados antes de su disposición final.

5.8.2 Fuentes no puntuales

La contaminación no puntual está asociada a las aguas de lluvia, deshielo, percolación, etc. La contaminación difusa es la que está asociada a fuentes no puntuales. A medida que la lluvia cae, acarrea contaminantes naturales o producidos por el hombre.

Tales contaminantes pueden ser:

- Exceso de fertilizantes, herbicidas e insecticidas, provenientes de usos agrícolas o domésticos.
- Aceites, grasas y contaminantes tóxicos transportados por el arrastre de agua de lluvia en zonas urbanas.
- Sedimentos provenientes de construcciones, zonas agrícolas o erosión.
- Drenaje ácido de minas abandonadas.
- Materia orgánica y microorganismos provenientes de zonas de ganadería.
- Arrastre de basura.

- Contaminantes en la atmósfera (material en partículas y otros compuestos); entre otros.

5.9 Índice de Calidad del Agua

Consiste en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que caracterizan la calidad del agua. El Índice de Calidad de Agua propuesta por Brown es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos de varios lugares, creó y diseñó un índice estándar llamado: WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: Índice de Calidad del Agua (ICA). Es utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en diferentes tramos del mismo río (SNET 1998?).

5.9.1 Diferentes usos del agua de acuerdo al Índice de Calidad del Agua

-ICA-

El índice de calidad del agua, de acuerdo al uso debe de presentar la siguiente ponderación (García 2010). Los cuáles son:

a. Uso como agua potable

90-100 E No requiere purificación para consumo.

80-90 A Purificación menor requerida.

70-80 LC Dudoso su consumo sin purificación.

50-70 C Tratamiento potabilizador necesario.

40-50 FC Dudoso para consumo.

0-40 EC Inaceptable para consumo.

b. Uso en agricultura

90-100 E No requiere purificación para consumo.

70-90 A Purificación menor para cultivos.

50-70 LC Utilizable en mayoría de cultivos.

30-50 C Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos.

20-30 FC Uso solo en cultivos muy resistentes.

0-20 EC Inaceptable para riego.

c. Uso en pesca y vida acuática

70-100 E Pesca y vida acuática abundante.

60-70 A Límite para peces muy sensitivos.

50-60 LC Dudosa la pesca sin riesgos de salud.

40-50 C Vida acuática limitada a especies muy resistentes.

30-40 FC Inaceptable para actividad pesquera.

0-30 EC Inaceptable para vida acuática.

d. Uso industrial

90-100 E No requiere purificación.

70-90 A Purificación menor para industrias que requieran alta calidad de agua para operación.

50-70 LC No requiere tratamiento para mayoría de industrias de operación normal.

30-50 C Tratamiento para la mayoría de usos.

20-30 FC Uso restringido en actividades burdas.

0-20 EC Inaceptable para cualquier industria.

e. Uso recreativo

70-100 E Cualquier tipo de deporte acuático.

50-70 A Restringir los deportes de inmersión.

40-50 LC Dudosa para contacto con el agua.

30-40 C Evitar contacto, solo con lanchas.

20-30 FC Contaminación visible, evitar cercanía.

0-20 EC Inaceptable para recreación.

5.9.3 Utilidad de los índices de calidad

Los índices pueden ser usados para mejorar o aumentar y difundir la información sobre la calidad del agua. Los posibles usos citados por (Salazar 2016) son:

- **Manejo del recurso:** Pueden proveer información a personas que toman decisiones sobre las prioridades del recurso.
- **Clasificación de áreas.** Para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.
- **Aplicación de normatividad.** Permite determinar si se está sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes.
- **Análisis de la tendencia.** El análisis de los índices en un período de tiempo, pueden mostrar si la calidad ambiental está empeorando o mejorando.
- **Información pública.** Los índices pueden tener utilidad en acciones de concientización y educación ambiental.
- **Investigación científica.** Simplifica una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 Municipio de Esquipulas (Villeda 2003)

Esquipulas es uno de los 11 municipios que pertenecen al departamento de Chiquimula, está situado en la parte sur-oriental y forma parte de la región III de la distribución político administrativo de Guatemala, Centro América. Por su ubicación geográfica es el punto central que marca las limitantes de tres países siendo estos El Salvador, Honduras y Guatemala, razón por la cual se ha convertido en una zona trasnacional en la que se comparten objetivos e intereses con los dos países vecinos.

El municipio de Esquipulas se encuentra a una altitud que oscila entre los 800 msnm utilizada como punto de referencia la Basílica del Señor de Esquipulas y en las montañas más altas puede alcanzarse hasta 2418 msnm, con coordenadas latitud 14°33'48" y longitud 89°21'06". Colinda al norte con los municipios de Olopa, Jocotán y Camotán del departamento de Chiquimula, al Sur con municipio de Metapán y El Salvador, al oriente con los departamentos de Copán y Ocotepeque Honduras, y al este el municipio de Concepción las Minas y parte de Quezaltepeque del departamento de Chiquimula, Guatemala.

El municipio de Esquipulas es considerado una ciudad por la magnitud de importancia que feligreses católicos le han demostrado, cuenta con 20 aldeas y 118 caseríos haciendo un total de 532 kilómetros cuadrados de extensión. La urbe está distribuida en 9 barrios, 13 colonias, 7 residenciales y 2 lotificaciones comerciales que a la vez se dividen en 5 zonas.

6.2 Vías de acceso

La red vial del municipio tiene como carretera principal la que comunica la ciudad de Guatemala con la ciudad de Esquipulas, con una distancia de 222 km por la ruta CA-9 y CA-10, continua con la ruta CA- 12 a la frontera con la República de Honduras. El resto del municipio cuenta con carreteras y caminos sin asfalto que comunican con aldeas y caseríos, en general estas vías de acceso son caminos vecinales de terracería accesibles

en su mayoría durante todo tiempo, contando únicamente con 15 km de asfalto de Esquipulas a la Aldea Chanmagua (Municipalidad de Esquipulas 2012).

6.3 Clima

Guatemala es conocido como el país de la eterna primavera. Esto se debe al clima poco variable que se mantiene a lo largo de todo el año. Se distinguen solamente dos estaciones: invierno y verano que varían entre sí por las lluvias. Esquipulas tiene un clima muy variable, cálido templado seco, su temperatura promedio es de 25 °C, bajando hasta 10 °C ocasionalmente. Los meses más calientes son marzo y abril, los más fríos se reportan en noviembre, diciembre y enero (Villeda 2003). La época lluviosa es de mayo a octubre, con semanas de chubascos en noviembre, diciembre y enero, conocidas como lluvias temporales. Cuenta con una precipitación que oscila entre 960 a 1,400 mm. La velocidad del viento en promedio es de 6.8 km/h con dirección dominante noreste (Municipalidad de Esquipulas 2012).

En Esquipulas está bien definido el período de lluvias, el período seco es de noviembre a abril (verano) y el húmedo, de mayo a octubre (invierno), con lluvias de corta duración y alta intensidad que propician sequías en verano y torrentes en invierno con los consiguientes efectos sobre la agricultura, especies vegetales y la infraestructura de la zona (Guevara 2015).

6.4 Zonas de vida

En Esquipulas se distinguen tres zonas de vida principales siendo estas: bosque húmedo subtropical templado, bosque muy húmedo montano bajo subtropical y en menor área el bosque muy húmedo montano bajo (Municipalidad de Esquipulas 2012).

Cuadro 2. Porcentaje de zonas de vida en el municipio de Esquipulas

Zonas de vida del municipio de Esquipulas		
Zona de vida	Área en km2	% área que cubre el departamento
Bosque húmedo subtropical templado	452.932	18.90%
Bosque muy húmedo subtropical frío	67.088	2.80%
Bosque húmedo montano bajo	11.98	0.50%

Fuente: Municipalidad de Esquipulas (2012).

6.5 Hidrología (Villeda 2003)

En el municipio de Esquipulas las aguas están distribuidas en dos grandes corrientes. La primera nace en las montañas de Santa María Olopa cruzando los valles de Olopita y Atulapa, se dirige hacia el sur. Su afluente principal es el Río de Olopita, alimentado por las corrientes de los ríos y quebradas de Nejapa, San Juan, Tepoctún, Santiago, Quebrada Oscura, el Roble, el Chorro Chacalapa o El Milagro, Atulapa, Blanco Anguiatú y Agua Caliente, forman El Río Lempa que, atravesando territorio de Honduras, entra a El Salvador y desemboca en el Océano Pacífico,

Las corrientes superficiales de los ríos Tepoctún, Santiago, Quebrada oscura y el río Chacalapa son los que atraviesan la ciudad y a la vez conforman la red hidrológica superficial sobre la ciudad de Esquipulas. Mismas que al atravesar la ciudad se unen formando otra corriente conocida como Los Espinos drenando sus aguas al río Olopita, dando vida al río Lempa.

La segunda corriente se dirige hacia el norte, tiene como afluentes principales los ríos de El Playón y Joyitas que nacen en la frontera con Honduras y río frío o Sesecapa también en territorio hondureño, formando el Panela, se juntan al río Mapá, que unido a la quebrada de Senas, las Cañas y río Chanmagua, forman la cuenca del Jupilingo en

jurisdicción esquipulteca, pasando al municipio de Camotán unidos a otros afluentes caen al Motagua que desemboca en el Océano Atlántico

6.5.1 Principales ríos del municipio

- **Río Tepoctún:** nace al poniente de la cabecera municipal, su recorrido lo hace hacia el oriente, recibe las aguas del Chacalapa uniéndose en un punto dentro de la ciudad de Esquipulas.
- **Río Chantiago:** se origina en aldea Cruz Alta, corre hacia el noroeste, con la confluencia de otras corrientes y se une al río Tepoctún dentro de la ciudad de Esquipulas.
- **Río Nejapa:** se origina por la confluencia de las quebradas de Los Vados y Piedra de Afilar, al norte de Aldea Valle Dolores, recibe el Zanjón del Ahogado, corre hacia el sur oriente y cae al Tepoctún.
- **Río San Juan:** se origina al norte de las aldeas Valle Dolores y Olopita, por el caserío Piedra Redonda, corre hacia el sur oriente y cae al Tepoctún.
- **Río Olopita:** llega del municipio de Olopa por el Caserío Las Pomas, aldea El Rodeo, con la confluencia de la Quebrada El Manzano, Quebrada El Jiote y Río El Rodeo. Entra por el Caserío Cuevitas, atraviesa Esquipulas de oeste a este y en su recorrido de 15 Km dentro de Esquipulas, le cae el río Tepoctún que recoge las aguas del río San Juan, Nejapa, Chacalapa y Santiago, tomando el nombre de Los Espinos a la altura del caserío del mismo nombre. Continuando al oeste, recibe las quebradas de Pedernales, la Brea, El Amatal y el río Atulapa, formando ya la corriente del Lempa, penetrando a territorio hondureño al este del caserío Agua Caliente, constituye la principal fuente hídrica que favorece la agricultura en el municipio.
- **Río Atulapa:** tiene sus cabeceras en el caserío Plan de La Arada, de la Aldea Santa Rosalía, en la confluencia de las quebradas del Raspado y quebrada de

Piedra. En su paso por la Granadilla recibe la quebrada Paxastal. Corre de Sur a Este y descarga en el río de Olopita. Entre Santa Rosalía y San Nicolás cuenta con un puente vehicular de 48 m que facilita el paso. Surte del vital líquido a la ciudad de Esquipulas y a varios caseríos cercanos, así como a varios turicentros privados que se encuentran a sus orillas.

- **Río Chacalapa o El Milagro:** se origina al sur de la cabecera municipal por la confluencia de las quebradas La Laguna, la Chorrera y la de Tizaquín. Corre hacia el noroeste donde se junta con el Tepoctún dentro de la jurisdicción de la ciudad de Esquipulas. El nombre de “Chacalapa” significa en nahuatl “río de chacalines o camarones”. Se le ha nombrado río de El Milagro ya que, pasando a corta distancia por detrás de la Basílica del Señor de Esquipulas, a un feligrés de antaño por haberse bañado en sus aguas por fe en el Señor, se le concedió el milagro de sanar de su enfermedad.
- **Río Blanco:** se origina en la frontera con la República de Honduras al noreste de la aldea San Isidro, corre hacia el noreste y desemboca en el río Chanmagua.
- **Río Chanmagua:** se origina al sur del Cerro de La Peña Blanca frontera con Honduras, corre de sur oeste a noroeste. Recibe las aguas de la quebrada Colorada y El río Blanco, así como las quebradas Malcotal, El Zapotal, del Jute y Las Cañas. A la altura del caserío El Jícaro, Jagua, da origen al río Mapá.
- **Río Mapa:** Se forma al sureste el caserío El Jícaro por la confluencia del río Chanmagua y la quebrada las Cañas. Corre hacia el Noroeste recibe las quebradas de Rincón de Jesús, quebrada Blanca, Los Lucios, Trapiche, El Cordoncillo y La Chichicua. Al unirse al río Panela forman el río Jupilingo.
- **Río El Playón:** río formado por la quebrada de La Raya, que sirve de límite con la República de Honduras. Recibe las quebradas de El Camalote, Remudadero y Pasaljá. Al sureste de Sulay se une al río Panela.

- **Río Panela:** formado por el río Playón y río Sulay, al norte del caserío Sulay. Recibe como afluente La Quebradona y al unirse al río Mapá forman El Jupilingo.
- **Río Jupilingo:** se origina en el norte el Cacerío San Antonio Sulay, Esquipulas, por la confluencia de los ríos Mapá y Panela. Entra al municipio de Camotán, Chiquimula por el noroeste de Shalaguá y desemboca en el río Grande de Camotán. Constituye una de las principales cuencas hidrográficas del municipio que también favorece la agricultura en el área norte del mismo.

6.6 Cuencas y microcuencas del municipio

Los ríos que atraviesan la ciudad de Esquipulas drenan sus aguas al río Olopita, y este al unirse con el río Nejapa y el río Atulapa conforman la cuenca del río Olopa, que a la vez integran la parte alta de la cuenca del río Lempa que atraviesa los países de Honduras, El Salvador y Guatemala, siendo esta la cuenca más grande de centro América (CTPT 2009).

6.7 División política y administrativa (Villeda 2003)

El municipio de Esquipulas cuenta en la actualidad con 1 ciudad, 20 aldeas y 118 caseríos distribuidos en los 532 km².

El casco urbano está dividido en 9 barrios, 13 colonias, 7 residenciales y 2 lotificaciones comerciales distribuidas en 5 zonas. 5 caseríos forman parte de la ciudad de Esquipulas debido a su cercanía con el casco urbano, estos son: Tizaquín, Ciracil, San Joaquín, El Sillón y Vuelta Grande Villeda 2003, en según en su documento datos del municipio de Esquipulas.

Cuadro 3. Zonas, colonias y residenciales del área urbana del municipio de Esquipulas.

División política y administrativa del municipio de Esquipulas	
Zonas	División administrativa
ZONAS 1	Colonia San Mateo II Colonia San mateo I Colonia Quirio Cataño I Colonia Quirio Cataño II Colonia Santa Marta Colonia Santa Gudelia Colonia San Juan Colonia Los Arcos Residenciales La Asunción Residenciales Los Cerritos Residenciales Monte María Residenciales Pueblo Lindo
ZONA 2	Barrio Chacalapa Barrio Las Crucitas Colonia Los Pinos Colonia Vista Hermosa Residenciales Barrio Nuevo
ZONA 3	Barrio Santa Ana Barrio Pashapa Residenciales del Valle
ZONA 4	Barrio San José Palo Negro Colonia Loma Linda Lotificación Comerc. Meta Terminal Lotificación Comerc. Las Minas
ZONA 5	Colonia San José Obrero

Fuente: Villeda (2003).

6.8 Habitantes del municipio

De acuerdo al plan de ordenamiento y desarrollo territorial municipal 2013, la población en el año 2012 es de 41,846 habitantes, el 52.06% son sexo femenino y 47.93% son sexo masculino. El 44% de la población habita en el área urbana y el índice de hacinamiento es de 4.1 miembros por vivienda. El 47.3% de las familias viven en pobreza y 7.66% en extrema pobreza. La mayor concentración de la población se encuentra en el casco

urbano donde sólo el 88% son originarios de la ciudad. El crecimiento poblacional es de 1.94% anual (Municipalidad de Esquipulas 2013).

6.9 Investigaciones relacionadas con el tema

6.9.1 Calidad del agua superficial y propuesta de manejo en la microcuenca del río Atulapa, del área protegida Trinacional Montecristo, ubicada en el municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula. (Guevara 2015)

El estudio se realizó en la red superficial de la microcuenca del río Atulapa, ya que es una de las más importantes para el municipio de Esquipulas, debido a que abastece el 67% de los hogares de la ciudad, así como, aldeas y caseríos ubicados dentro de la microcuenca.

El estudio realizado tuvo como objetivo determinar la calidad del agua en la red hidrológica superficial de la microcuenca río Atulapa, del Área Protegida Trinacional Montecristo, con el propósito de generar propuestas de manejo que permita mejorar la calidad del agua en toda la red hídrica; el cual se desarrolló en un período de 12 meses, en donde se determinaron 25 puntos de monitoreos, divididos así 14 en la parte alta, 6 en la parte media y 5 en la parte baja de la microcuenca, analizando 9 parámetros con el propósito de conocer la calidad del agua y si en los parámetros sobrepasaban los límites máximos aceptables y permisibles, determinando el Índice de Calidad de Agua –ICA- en las corrientes superficiales del río Atulapa.

Los cuatro monitoreos se llevaron a cabo en los meses de enero, marzo, septiembre de 2013, enero de 2014, donde se determinaron parámetros a nivel de campo como: pH, temperatura del agua (°C), conductividad eléctrica y oxígeno disuelto; y a nivel de laboratorio: nitratos, fosfatos, sólidos disueltos totales, turbidez, demanda biológica de oxígeno y coliformes fecales.

6.9.2 Determinación de la calidad del agua en la corriente superficial de la microcuenca del río Grande, ubicada en el municipio Concepción las Minas, Departamento de Chiquimula. (Salazar 2016)

El municipio de Concepción las Minas se encuentra ubicado en la parte sur oriental del departamento de Chiquimula, su extensión territorial es de 160 km², la distancia de la cabecera departamental es de 52 km², está ubicado a 225 km de la ciudad capital de Guatemala.

La investigación consistió en la determinación de la calidad del agua de la corriente superficial de la microcuenca del río Grande ubicado en el municipio de Concepción las Minas, departamento de Chiquimula; para la cual se establecieron puntos de control, tomando como criterios los centros poblados. Se realizaron cuatro monitoreos durante un año, alternando estos cada cuatro meses (enero, abril, julio, octubre) con la finalidad de evaluar la influencia de la estación climática y los factores antropogénicos sobre la calidad del agua.

6.9.3 Determinación de la contaminación provocada por los subproductos del café (aguas mieles y pulpa) en la red hidrológica superficial de la microcuenca del río Atulapa, municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula. (Gómez 2016).

La investigación se realizó en la microcuenca del río Atulapa, que está ubicada al sur del municipio de Esquipulas, que pertenece al departamento de Chiquimula; esta microcuenca pertenece a la cuenca del río Olopa y a su vez a la cuenca del río Lempa. La contaminación de la red hidrológica superficial de la microcuenca del río Atulapa demandó generar una metodología que permitió determinar la influencia que tienen los subproductos del beneficiado húmedo de café en la calidad del agua.

La metodología aplicada en esta investigación se basó en la identificación de las fuentes generadoras de la contaminación (descarga de aguas mieles y pulpa al cauce del río, sin tratamiento previo) y el establecimiento de puntos de control, en los cuales se realizaron

monitoreos de la calidad del agua de la red hidrológica superficial, en donde se analizaron los parámetros de calidad del agua, principalmente los de demanda biológica de oxígeno DBO⁵ y demanda química de oxígeno DQO, que fueron analizados de acuerdo a lo que establece la norma oficial mexicana de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en conjunto con la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA).

Con base a los resultados obtenidos, principalmente en los parámetros de demanda biológica de oxígeno DBO⁵ y demanda química de oxígeno DQO, se determinó que sí existe contaminación de la red hidrológica superficial de la microcuenca del río Atulapa, en donde las principales causas de contaminación han sido generadas por los subproductos del beneficiado húmedo de café, realizado por los productores que se encuentran establecidos dentro del área. De acuerdo a la SEMARNAT en conjunto con la CONAGUA, la contaminación de la red hidrológica superficial ocurre cuando se encuentran niveles superiores a 30mg/l de demanda biológica de oxígeno DBO⁵ y 40mg/l de demanda química de oxígeno DQO.

7. MARCO METODOLÓGICO

7.1 Determinación del área de estudio

El área de estudio comprendió la red hidrológica superficial que atraviesa el casco urbano de la ciudad de Esquipulas; la ciudad está integrada por 9 barrios, 13 colonias, 7 residenciales y 2 lotificaciones comerciales distribuidas en 5 zonas. En donde se determinó la calidad del agua, mediante diferentes puntos de muestreo sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.

7.2 Identificación de la red hidrológica superficial

Para identificar la red hidrológica superficial que atraviesa la ciudad de Esquipulas, se realizó un recorrido para visualizar todas las corrientes que conforman la red. En el lugar se tomaron las diferentes coordenadas X y Y, con la ayuda de un GPS.

Con la información se elaboró el mapa base de la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas, utilizando el Sistema de Información Geográfica -SIG- del Centro Universitario de Oriente CUNORI.

A través de esta información se identificaron los ríos y la quebrada que atraviesa la ciudad de Esquipulas y conforman la red hidrológica superficial.

7.3 Determinación de los puntos de descarga de aguas residuales sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.

Para identificar los puntos de descarga de agua residuales sobre la red hidrológica superficial, inicialmente se realizó un recorrido por los diferentes ríos que conforman la red hidrológica superficial de la ciudad. Mediante la técnica de la observación se georreferenciaron los puntos de descarga de aguas residuales que se visualizaron en todo el recorrido. Con la información recolectada en campo se elaboró un mapa de ubicación de las descargas puntuales de aguas residuales.

Los puntos de descarga identificados fueron clasificados de la siguiente manera:

- Todas aquellas descargas de aguas residuales que conectan todas las viviendas de uno o varios barrios, se clasificaron de tipo primario;
- Las que recolectan las descargas de las viviendas de una colonia o residencial, se clasificaron de tipo secundario;
- Las que recolectan las aguas residuales de una vivienda, se clasificaron de tipo terciario.

Las descargas identificadas en la fase de reconocimiento fueron registradas en una boleta de campo diseñada para coleccionar la información necesaria como numero de punto, tipo y las coordenadas X y Y. De esta manera se realizó un estudio completo sobre la calidad del agua y los puntos de descargas de aguas residuales que se desembocan en los diferentes ríos de la red hidrológica que atraviesa la ciudad de Esquipulas.

7.4 Establecimiento de los puntos de muestreo

Para la realización del estudio se establecieron puntos de muestreo sobre la red hidrológica superficial que atraviesa la ciudad de Esquipulas, los cuales fueron ubicados en cada uno de los ríos o quebradas identificadas, para determinar la calidad de los mismos, se localizó un punto antes que el río ingrese a la ciudad, un siguiente punto cuando este sale de la ciudad o antes de unirse con otro río. De esta manera se monitoreó durante 6 meses los ríos que conforman la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas, para luego determinar la calidad del agua en cada punto y obtener el nivel de contaminación.

El cuadro 4, muestra la importancia de los puntos de control en la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.

Cuadro 4. Importancia de los puntos de control en la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.

Observaciones de los puntos de control establecidos		
Nombre: Río/Quebada	Punto de control	Importancia
Río Tepoctún	Río Tepoctún 1	Ingreso del río a la Ciudad
	Río Tepoctún 2	Influencia de descarga de aguas grises
	Río Tepoctún 3	Unión de dos fuentes de agua
	Río Tepoctún 4	Unión de dos fuentes de agua
Río Santiago	Río Santiago 1	Ingreso del río a la Ciudad
	Río Santiago 2	Influencia de descarga de aguas grises
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	Ingreso al centro recreativo
	Río Chacalapa 2	Influencia de actividades dentro del centro recreativo
	Río Chacalapa 3	Influencia de descargas de aguas grises
	Río Chacalapa 4	La manera en que influye el casco urbano en la calidad
Quebrada Oscura	Quebrada Oscura 1	Influencia de descargas de aguas grises
Río Los Espinos	Río Los Espinos 1	Unión de dos fuentes de agua
	Río Los Espinos 2	Influencia de descarga de aguas mieles
	Río Los Espinos 3	Influencia de las múltiples actividades del casco urbano en la calidad del río
Río Olopita	Río Olopita 1	Evaluar su calidad
	Río Olopita 2	Influencia de descarga de aguas grises de la ciudad

- El primer punto se ubicó sobre el río Tepoctún, el cual inicia su recorrido por la ciudad, en la colonia Colinas de Santa Lucía, y se recolectó 100 metros antes de la primera vivienda. Este punto fue necesario para posteriormente analizar y poder comparar la calidad del ingreso de la fuente a la ciudad.
- El segundo punto de control se ubicó sobre el río Tepoctún, después de que el mismo atraviesa varias colonias y recibe las descargas de aguas residuales de la ciudad. En el barrio San Joaquín, 50 metros antes de unirse al río Santiago.

- El tercer punto de control fue clave para evaluar la unión de dos ríos siendo este el río Tepoctún y el río Santiago, después de que ambos atraviesan varios sectores de la ciudad de Esquipulas, y convergen en un mismo punto en el barrio San Joaquín. La muestra de cada monitoreo se recolectó 100 metros después de la unión.
- El cuarto punto de monitoreo se estableció sobre el río Tepoctún en su unión con el río Chacalapa dos 2 km abajo de la unión anterior. La muestra se recolectó 100 metros después de la unión, y es en este punto donde deja de llamarse río Tepoctún y se conoce como río Los Espinos.
- El punto cinco hace referencia al ingreso del río Santiago a la ciudad, en el lugar conocido como poza de los cueros colonia San Juan.
- El punto seis se ubica en el barrio San Joaquín, en donde después de recorrer varios sectores de la ciudad, el río Santiago se une al río Tepoctún. La muestra se recolectó 50 metros antes de la unión.
- El punto siete se ubicó antes de que el río Chacalapa haga ingreso al centro recreativo Cueva de Las Minas.
- El punto de control ocho se ubicó 100 metros arriba del punto Los Milagros, para verificar la influencia del centro recreativo Cueva de Las Minas y la calidad antes de su ingreso a la ciudad de Esquipulas.
- El punto nueve se ubicó en la colonia San Mateo 2 de la ciudad, 150 metros después de recibir la descarga de aguas grises de la quebrada oscura al río Chacalapa.
- El punto diez se localizó en residenciales del Valle donde el río Chacalapa se une con el río Tepoctún y forman el río conocido como Los Espinos. La muestra se recolectó 50 metros antes de la unión.

- El punto once hace referencia a la quebrada Oscura que atraviesa el centro de la ciudad, y que desemboca sobre el río Chacalapa en la colonia San Mateo 1. La muestra se recolectó 20 metros antes de la desembocadura.
- El punto doce se ubicó en residenciales del Valle sobre el río Los Espinos. La muestra se recolectó 200 metros después de la unión de las dos fuentes (Tepoctún y Chacalapa).
- El punto trece se ubicó en residenciales del Bosque, lugar por donde atraviesa el río Los Espinos (este tramo del río es conocido con otros nombres como: río los Milagros, quebrada Oscura y Las Juntas; en esta investigación lo llamaremos Los Espinos).
- El punto catorce se monitoreó en la aldea Atulapa lugar donde el río Los Espinos desemboca con el río Olopita. La muestra se recolectó 100 metros arriba de la desembocadura.
- El punto quince se ubicó en la aldea Atulapa, sobre el río Olopita, este punto es importante para analizar la calidad que el río trae. La muestra se recolectó 100 metros antes de la desembocadura del río Los Espinos.
- El punto dieciséis se ubicó en la aldea Atulapa, sobre el río Olopita, la muestra se tomó 100 metros después de la desembocadura del río Los Espinos.

7.5 Técnica de recolección de las muestras de agua

Para la toma de la muestra en cada punto de monitoreo se aplicaron todas las recomendaciones propuestas por la Asociación de Salud Pública Americana (APHA 1992) y Asociación de Trabajos del Agua de los Estados Unidos (AWWA 2002) para así obtener resultados confiables.

Se realizaron tres monitoreos durante el año (mes de abril, mes de julio y mes de septiembre), en cada punto de monitoreo se recolectó una muestra de agua de 1 litro para el análisis físico-químico y 100 ml de agua para el análisis bacteriológico.

Las muestras recolectadas fueron identificadas con los siguientes datos: número de muestra, monitoreo, nombre del río o quebrada, fecha y hora. Las muestras recolectadas se trasladaron al laboratorio y se utilizó una hielera a 4 °C, aproximadamente, lo cual evita cualquier tipo de alteración previo al análisis en el laboratorio. Las muestras se trasladaron al laboratorio en un período menor de 24 horas desde su toma.

7.5.1 Pasos a seguir para la toma de la muestra de agua, según las recomendaciones por APHA y AWWA

Para la recolección de las muestras de agua en los puntos de monitoreo se siguieron las recomendaciones de APHA, AWWA, de la forma siguiente:

- Recipientes de plástico de capacidad de 1 litro debidamente esterilizados de preferencia nuevos.
- La toma de la muestra se realizó antes y después de cada corriente, tomando en cuenta la parte donde la velocidad del flujo de agua era mayor.
- El recipiente de plástico de capacidad de 1 litro, se inclinó hasta formar un ángulo de 45°.
- Los recipientes de plástico para el análisis físico-químico y bacteriológico se abrieron minutos antes a la toma de la muestra para evitar posible contaminación con el medio.
- La entrada del recipiente de plástico con capacidad de 1 litro se colocó hacia arriba contra la corriente.
- EL recipiente plástico con capacidad de 1 litro se enjuagó dos veces con el agua de la corriente superficial, para el análisis físico-químico.
- Los recipientes de plástico esterilizados que se utilizaron para el análisis bacteriológico con capacidad de 100 ml, se enjuagarán con agua destilada previo a ser llenados.
- Después de ser llenados los dos recipientes de plástico con capacidades de 1 litro y 100 ml en cada punto de muestreo, se colocaron en hieleras.

- En una hielera se almacenaron todas las muestras para el análisis físico-químico y en la otra para el análisis bacteriológico, las hieleras utilizadas fueron de plástico térmico.
- Para mantener la temperatura dentro de las hieleras menores a 4 °C, se utilizó hielo.
- Finalmente se trasladaron las muestras al laboratorio para ser analizadas.

7.5.2 Preservación de las muestras de agua

Las muestras para el análisis fisicoquímico y microbiológico se colocaron en hieleras térmicas diferentes, una contuvo las muestras del análisis físico-químico y la otra hielera térmica almacenó los recipientes plásticos para el análisis microbiológico, La separación de los envases plásticos, se realizó para evitar el contacto entre muestras y posibles alteraciones con el ambiente, la temperatura promedio para su almacenamiento fue de 4 °C.

7.6 Parámetros a evaluar

Para determinar la calidad del agua mediante la metodología del Índice de Calidad del Agua intervienen 9 parámetros según SNET, los cuales son:

- Coliformes Fecales (en NMP/100ml)
- Potencial del hidrógeno pH (en unidades de pH)
- Demanda Biológica de Oxígeno en cinco días (DBO5 en mg/l)
- Nitratos (NO₃ en mg/l)
- Fosfatos (PO₄ en mg/l)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en NTU)
- Sólidos Disueltos Totales (en mg/l)
- Oxígeno Disuelto (OD en % saturación)

7.6.1 Medición de parámetros a nivel de campo

A nivel de campo se midieron parámetros críticos; los cuales, de acuerdo a las recomendaciones para determinar el índice de calidad de agua, son los siguientes:

- Potencial de hidrógeno pH (en unidades de pH)
- Temperatura del agua (en °C)
- Temperatura ambiente (en °C)
- Oxígeno disuelto (en mg/l) y en porcentaje de saturación (% SAT)
- Conductividad eléctrica del agua (en $\mu\text{S/cm}$)

Para medir estos parámetros se utilizó el equipo electrónico portátil multiparámetros HQ40, el cual se calibró previo a la toma de la muestra. Las mediciones se realizaron al colocarle diferentes sondas, las que determinaron el potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto presente en la corriente superficial de donde se extrajo la muestra. Los resultados obtenidos en cada parámetro se registraron en boletas de campo diseñadas para este fin.

7.6.2 Determinación de parámetros a nivel de laboratorio

Las muestras se analizaron en el laboratorio ambiental de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental del Centro Universitario de Oriente -CUNORI-. Los parámetros analizados a nivel de laboratorio son los siguientes:

Parámetros físicos

- Turbidez (en NTU)

Parámetros químicos

- Sólidos disueltos totales TDS (mg/l)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días DBO_5 (mg/l)
- Nitratos (NO_3 en mg/l)
- Fosfatos (PO_4 en mg/l)

Parámetros bacteriológicos

- Coliformes fecales (en NMP/100 ml)

7.7 Métodos a emplear para la determinación de los parámetros a nivel de laboratorio.

Para el análisis a nivel de laboratorio de los parámetros que contempla el Índice de Calidad del Agua se aplicaron los siguientes métodos avalados por Standar Methods of the examination of Water an Wasterwade. Los métodos se emplearon en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente -CUNORI-.

7.7.1 Para la determinación de coliformes totales se aplicó el método del número más probable (NMP) o tubos múltiples

Según los métodos estándar para examinar el agua, la determinación del NMP (número más probable) de bacterias coliformes en una muestra se hace a partir de la técnica de los tubos múltiples, en la cual volúmenes decrecientes de la muestra (diluciones decimales consecutivas) son inoculadas en un medio de cultivo adecuado. La combinación de los resultados positivos y negativos es usada en la determinación del NMP.

La determinación de microorganismos coliformes totales por el método del Número más Probable (NMP) se fundamenta en la capacidad de este grupo microbiano de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas, utilizando un medio de cultivo que contenga sales biliares. Esta determinación constó de dos fases, la fase presuntiva y la fase confirmativa. En la fase presuntiva el medio de cultivo que se utilizó es el caldo lauril sulfato de sodio, el cual permite la recuperación de los microorganismos dañados que se encuentren presentes en la muestra y que sean capaces de utilizar a la lactosa como fuente de carbono. Durante la fase confirmativa se emplea como medio de cultivo caldo lactosado bilis verde brillante, el cual es selectivo y solo permite el desarrollo de aquellos microorganismos capaces de tolerar, tanto las sales biliares como, el verde brillante.

La determinación del número más probable de microorganismos coliformes fecales se realizó a partir de los tubos positivos de la prueba presuntiva y se fundamenta en la capacidad de las bacterias para fermentar la lactosa y producir gas cuando son incubados a una temperatura de $44.5 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ por un período de 24 a 48 h.

7.7.2 Para la determinación de nitratos se utilizó el método de salicilato de sodio utilizando el espectrofotómetro

Se utilizó el método de salicilato de sodio; el rango de este método se encuentra entre 0.1 y 2 mg de nitrógeno de nitratos por litro. Muestras con mayores concentraciones requieren un volumen inicial menor.

La técnica de monitoreo espectrofotométrico ultravioleta (UV) mide la absorbencia del nitrato a 420 nm, según los métodos estándar para examinar el agua, este método determina rápidamente en monitoreo de aguas con contenidos de materia orgánica y fuentes de agua potable.

7.7.3 Determinación de fosfatos en aguas por espectrofotometría

La espectrofotometría es una de las técnicas experimentales más utilizadas para la detección específica de moléculas de distinta naturaleza (contaminantes, biomoléculas, etc. y estado de agregación (sólido, líquido, gas). El fundamento físico-químico de la espectrofotometría está relacionado con la capacidad de las moléculas de absorber energía luminosa y almacenarla en forma de energía interna. Esto permite que se inicien ciclos vitales de muchos organismos, entre ellos el de la fotosíntesis en plantas y bacterias.

7.7.4 Para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno se utilizó el método de prueba de DBO de 5 días.

Este método estándar para analizar el agua consiste en llenar completamente un frasco con muestra cerrado herméticamente e incubarlo a temperatura establecida durante 5 días. El OD se mide antes y después de la incubación, y la DBO se calcula mediante la diferencia entre el OD inicial y el final.

La prueba mide el oxígeno utilizado, durante el período de incubación especificado, para la degradación de la materia orgánica y el utilizado para oxidación de materia inorgánica.

7.7.5 La turbidez se determinó a través del instrumento turbidímetro o nefelómetro.

Este método según los estándares establecidos para analizar el agua, está basado en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas con la luz dispersa por una suspensión estándar de referencia bajo las mismas condiciones. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor será la turbidez.

7.7.6 Para la determinación de los sólidos disueltos totales se utilizó el método analítico

Los sólidos totales son las sustancias que permanecen después de filtrar y evaporar a sequedad una muestra bajo condiciones específicas. En los sólidos disueltos totales (SDT), se determina el incremento de peso que experimenta una cápsula tarada, tras la evaporación en ella de una alícuota de la muestra previamente filtrada y que posteriormente es secada a peso constante a 180 °C, temperatura a la cual el agua de cristalización está prácticamente ausente. El contenido de sólidos disueltos puede estimarse por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales.

7.8 Estimación del Índice de Calidad del Agua general (SNET 1998?)

El índice de Brown o Índice de Calidad de Agua General se determinó utilizando una suma lineal ponderada de los subíndices (ICAa) o una función ponderada multiplicativa, (ICAm). Para la realización de este estudio se aplicó la función ponderada multiplicativa, debido a que otros autores (Landwehr y Denninger, 1976), demostraron que el cálculo del Índice de Calidad de Agua -ICA- mediante esta técnica, es superior a la aritmética, es decir que es mucho más sensible a la variación de los parámetros, reflejados con mayor precisión un cambio de calidad.

Matemáticamente se expresa en la siguiente fórmula:

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

Donde:

- W_i = Peso relativos asignados a cada parámetro (Sub_i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.
- Sub_i = Subíndice del parámetro i .

Para determinar el valor del Índice de Calidad del Agua se utilizaron las series de gráficas que se muestran a continuación para calcular los subíndices (Sub_i) y los pesos relativos (w_i) de cada uno de los nueve parámetros que se sustituyeron en la ecuación anterior.

Para determinar el Índice de Calidad del Agua Intervienen nueve parámetros.

- Coliformes Fecales (en NMP/100ml)
- Potencial de hidrógeno (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días (DBO5 en mg/L)
- Nitratos (NO3 en mg/l)
- Fosfatos (PO4 en mg/l)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en NTU)
- Sólidos Disueltos Totales (en mg/l)
- Oxígeno Disuelto (OD en % saturación)

Cuadro 5. Peso relativo para cada parámetro del -ICA-

Pesos de los parámetros evaluados en -ICA-		
i	Sub_i	W_i
1	Coliformes fecales	0.15
2	pH	0.12
3	DBO ₅	0.1
4	Nitratos	0.1
5	Fosfatos	0.1
6	Temperatura	0.1
7	Turbidez	0.08
8	Solidos disueltos Totales	0.08
9	Oxígeno disuelto	0.17

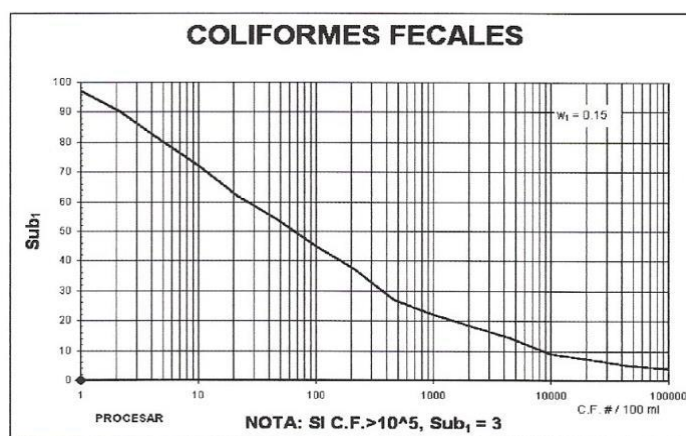
Fuente: SNET (1998?).

Pasos a seguir para calcular los sub-índices de calidad de agua general

Según el servicio nacional de estudios territoriales de El Salvador SNET, los pasos para el cálculo son los siguientes:

- **Coliformes Fecales:** si el resultado es mayor de 100,000 bact/100 ml el Sub1 es igual a 3; si el valor es menor a 100,000 Bact/100 ml, se busca el valor en (X) de la figura 1 y se interpoló el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el Sub1 de Coliformes Fecales, luego se multiplica.

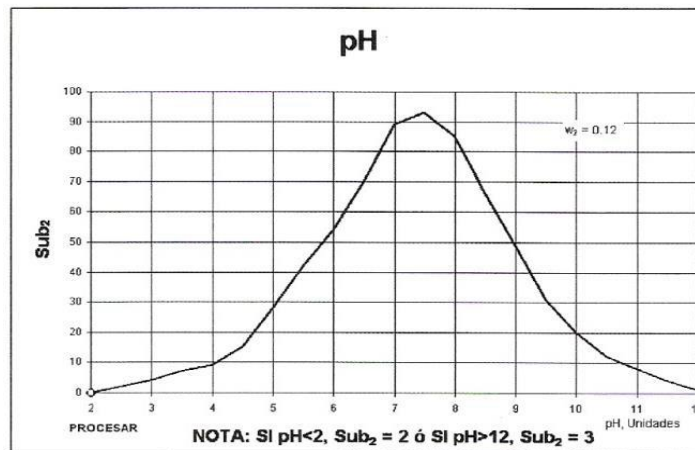
Figura 1. Valoración de la calidad de agua en función de coliformes fecales



Fuente: SNET (1998?).

- **pH:** si el valor resultante es igual o menor de 2 el Sub2 es igual a 2, si el valor es mayor o igual a 10 el Sub2 es igual a 3. Si el valor del pH está entre 2 y 10 se buscará el valor en (X) en la figura 2 y se interpola en valor en el eje (Y), el valor encontrado en el Sub2 de pH y se procede a elevarlo al peso w_2 .

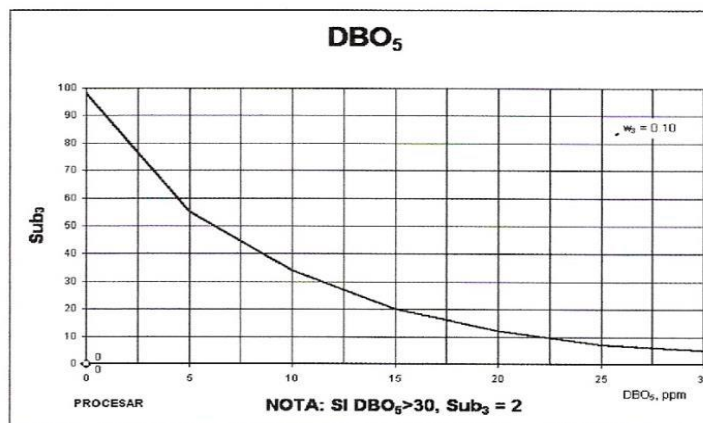
Figura 2. Valoración de la calidad del agua en función de pH.



Fuente: SNET (1998?).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** si el valor resultante es mayor de 30 mg/l el Sub3 es igual a 2, si la DBO es menor de 30 mg/l se buscará el valor en el eje de (X) en la figura 3 y se interpolará el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub3) de DBO y se procede a elevarlo al peso w_3 .

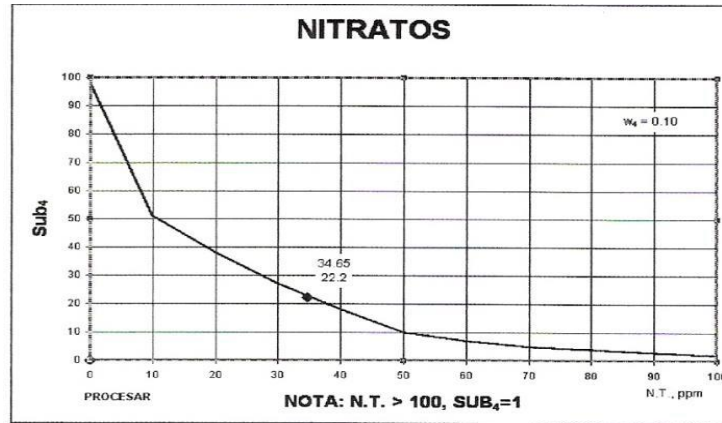
Figura 3. Valoración de la calidad de agua en función de DBO₅



Fuente: SNET (1998?).

- **Nitratos:** si el resultado es mayor de 100 mg/l el (Sub4) es igual a 2, si los nitratos son menores de 100 mg/l se buscará el valor en el eje (X) en la figura 4, y se interpolará el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub4) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso w_4 .

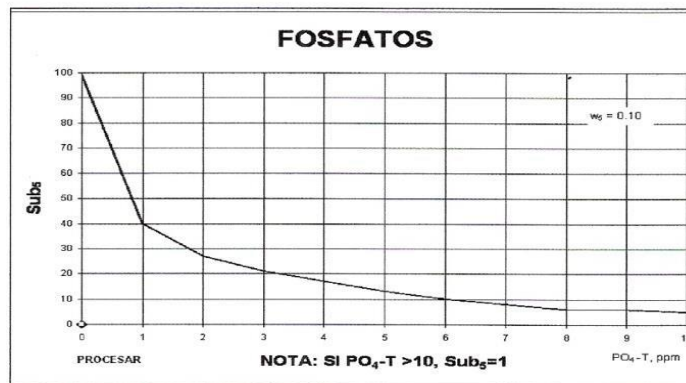
Figura 4. Valoración de la calidad de agua en función de nitratos



Fuente: SNET (1998?).

- **Fosfatos:** si es mayor de 10 mg/l el (Sub5) es igual a 5, si el fosfato es menor de 10mg/l se buscará el valor en el eje de (X) en la figura 5, y se interpolará al valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub5) y se procede a elevarlo al peso w5.

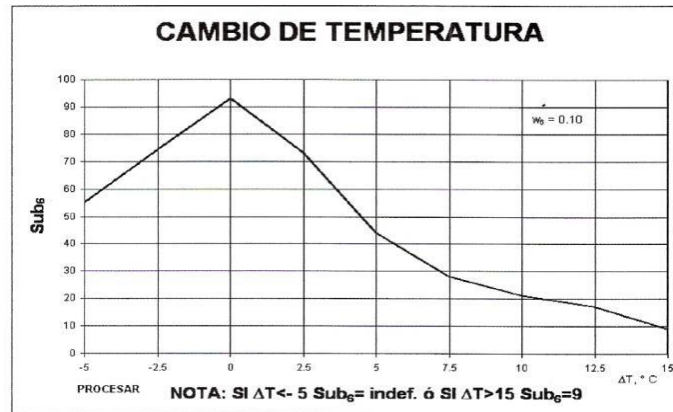
Figura 5. Valoración de la calidad de agua en función de fosfatos.



Fuente: SNET (1998?).

- **Temperatura:** para este parámetro se calculará primero la diferencia entre la T°ambiente y la T°muestra y con el valor obtenido se procederá. Si el valor de la diferencia es mayor de 15° C el (Sub6) es igual a 9, si es menor de 15°C se buscará el valor en el eje (X) y en la figura 6 y se interpolará al valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub6) de temperatura y se procede a elevarlo al peso w6.

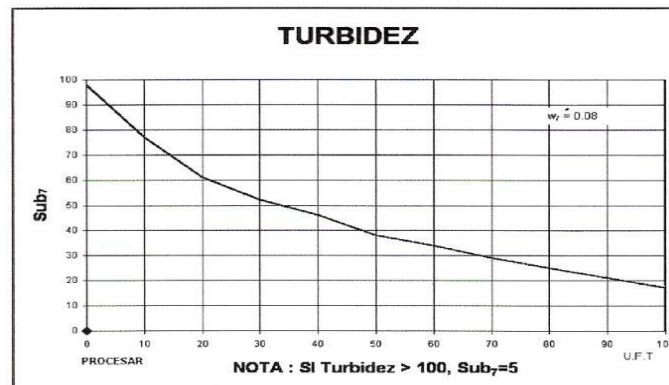
Figura 6. Valoración de la calidad de agua en función de temperatura.



Fuente: SNET (1998?).

- **Turbidez:** si es mayor de 100 NTU el (Sub7) es igual a 5, si la turbidez es menor de 100 NTU, se buscará el valor en el eje (X) y se interpolará en el eje (Y) de la figura 7, el valor encontrado es el (Sub7) de turbidez y se procede a llevarlo al peso w_7 .

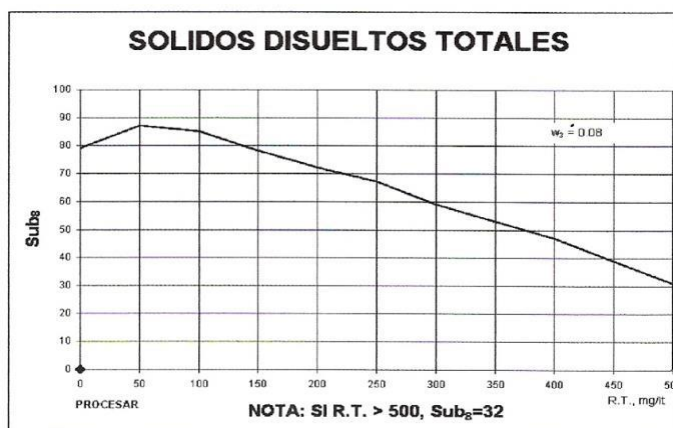
Figura 7. Valoración de la calidad de agua en función de turbidez



Fuente: SNET (1998?).

- **Sólidos disueltos totales:** si los valores resultantes son mayores de 500 mg/l el (Sub8) es igual a 3, si es menor de 500 mg/l, se buscará el valor en el eje de (X) en la figura 8, se interpolará en el eje de la (Y), el valor encontrado es el (Sub8) de Sólidos disueltos Totales y se procede a elevarlo al peso.

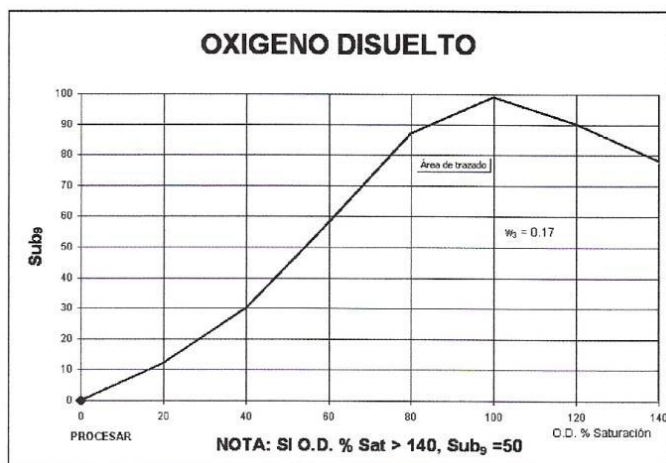
Figura 8. Valoración de la calidad de agua en función de sólidos Totales.



Fuente: SNET (1998?).

- **Oxígeno disuelto:** se calculará el porcentaje de saturación del OD en el agua, identificando el valor de saturación de OD según la temperatura del agua como se muestra en la figura 9.

Figura 9. Valoración de la calidad de agua en función del % de saturación.



Fuente: SNET (1998?).

Cuadro 6. Solubilidad de oxígeno en agua dulce

Solubilidad de oxígeno en agua dulce							
Temp.	OD	Temp.	OD	Temp.	OD	Temp.	OD
1	14.19	12	10.76	23	8.56	34	7.05
2	13.81	13	10.52	24	8.4	35	6.93
3	13.44	14	10.29	25	8.24	36	6.82
4	13.09	15	10.07	26	8.09	37	6.71
5	12.57	16	9.85	27	7.95	38	6.61
6	12.43	17	9.65	28	7.81	39	6.51
7	12.12	18	9.45	29	7.67	40	6.41
8	11.83	19	9.26	30	7.54	41	6.31
9	11.55	20	9.07	31	7.42	42	6.22
10	11.27	21	8.9	32	7.28	43	6.13
11	11.01	22	8.72	33	7.16	44	6.04

Fuente: SNET (1998?).

Si el porcentaje de sustancias de OD es mayor a 140% el (Sub₉) es igual a 47, si el valor es menor de 140% la saturación de OD se buscará el valor en el eje (x) se interpolará el valor en el eje (Y), el valor encontrado será (Sub₉) de Oxígeno Disuelto y se procede a elevarlo al peso W₉.

Los valores obtenidos se incorporaron tal como se muestra en el cuadro 7, para calcular el valor del índice de calidad de agua por cada punto de muestreo.

Cuadro 7. Cálculo del Índice de Calidad de Agua

Matriz para el cálculo del índice de calidad del agua -ICA-						
Parámetro		Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes Fecales		NMP/100ml		0.15	
2	pH		Unidades pH		0.12	
3	DBO 5		mg/L		0.1	
4	Nitratos		mg/L		0.1	
5	Fosfatos		mg/L		0.1	
6	Temperatura		°C		0.1	
7	Turbidez		FAU		0.08	
8	Sólidos Disueltos Totales		mg/L		0.08	
9	Oxígeno Disuelto		% Saturación		0.17	
Valor de índice de Calidad de Agua -ICA-				Suma		0

Fuente: SNET (1998?).

Luego se realizó el cálculo del Índice de Calidad de Agua de tipo general.

7.9 Estimación del Índice de Calidad del Agua para diferentes usos

Con los valores obtenidos en el Índice de Calidad de Agua -ICA-, se realizó una evaluación utilizando los lineamientos del panel de expertos Dinius, basado en función del uso para el cual se destinó el agua de fuentes superficial. En este caso se estableció los diferentes usos de la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas.

7.9.1 Rangos de estado de calidad del agua

El panel de expertos Dinius estableció 6 rangos de estado de la calidad del agua en fuentes superficiales siendo ésta la escala:

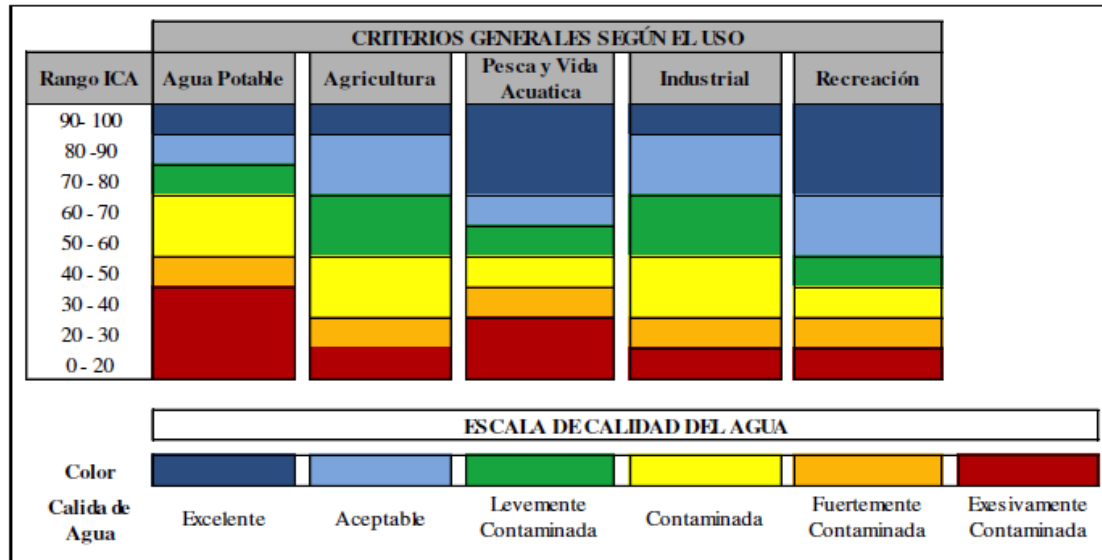
- Excelente
- Aceptable
- Levemente contaminada
- Contaminada
- Fuertemente contaminada
- Excesivamente contaminada

Para lo cual se establecieron 5 criterios de uso, siendo los siguientes:

- Agua potable
- Agricultura
- Pesca y vida acuática
- Industrial
- Recreativo

La figura 10, muestra el rango evaluado por el índice de Calidad de Agua -ICA- y los criterios generales para su posterior clasificación en los distintos usos.

Figura 10. Criterios generales según el uso.



Fuente: SNET (1998?).

7.10 Análisis de la información

El análisis de la información se realizó con los programas de Word, Excel y ArMap 10.2.2, en los que se elaboraron tablas, gráficas, análisis comparativos y mapas.

El índice de calidad del agua se determinó en el programa de Excel mediante fórmulas en las que se combinaron los 9 parámetros evaluados. Los resultados se graficaron y se interpretaron mediante tablas elaboradas en el mismo programa. La distribución de la red hídrica de la ciudad de Esquipulas y la ubicación de los puntos de descarga de aguas residuales se presentan en mapas elaborados en el programa de ArMap. La información obtenida finalmente se redactó mediante el programa de Word, donde también aparecerán las gráficas, tablas y mapas elaborados en los otros programas.

7.11 Período de monitoreo de la calidad del agua de la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.

El presente estudio se realizó por un período de 6 meses, comprendidos del mes de abril a septiembre, haciendo un total de 3 monitoreos en el año 2017.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Puntos de monitoreo establecidos sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.

La red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas está conformada por cuatro corrientes permanentes: río Tepoctún, río Chacalapa, río Santiago y quebrada Oscura, los cuales se unen y conforman un tramo del río Los Espinos (este tramo del río es llamado también: Los Milagros y quebrada Oscura, en esta investigación se nombrará como Los Espinos), al cual le vierten otras pequeñas quebradas y este río se unen en el lugar denominado “la junta” con el río Olopita que drena desde el municipio de Olopa; y que posteriormente se une a este río, el río Atulapa para conformar el río Lempa que drena hacia Honduras.

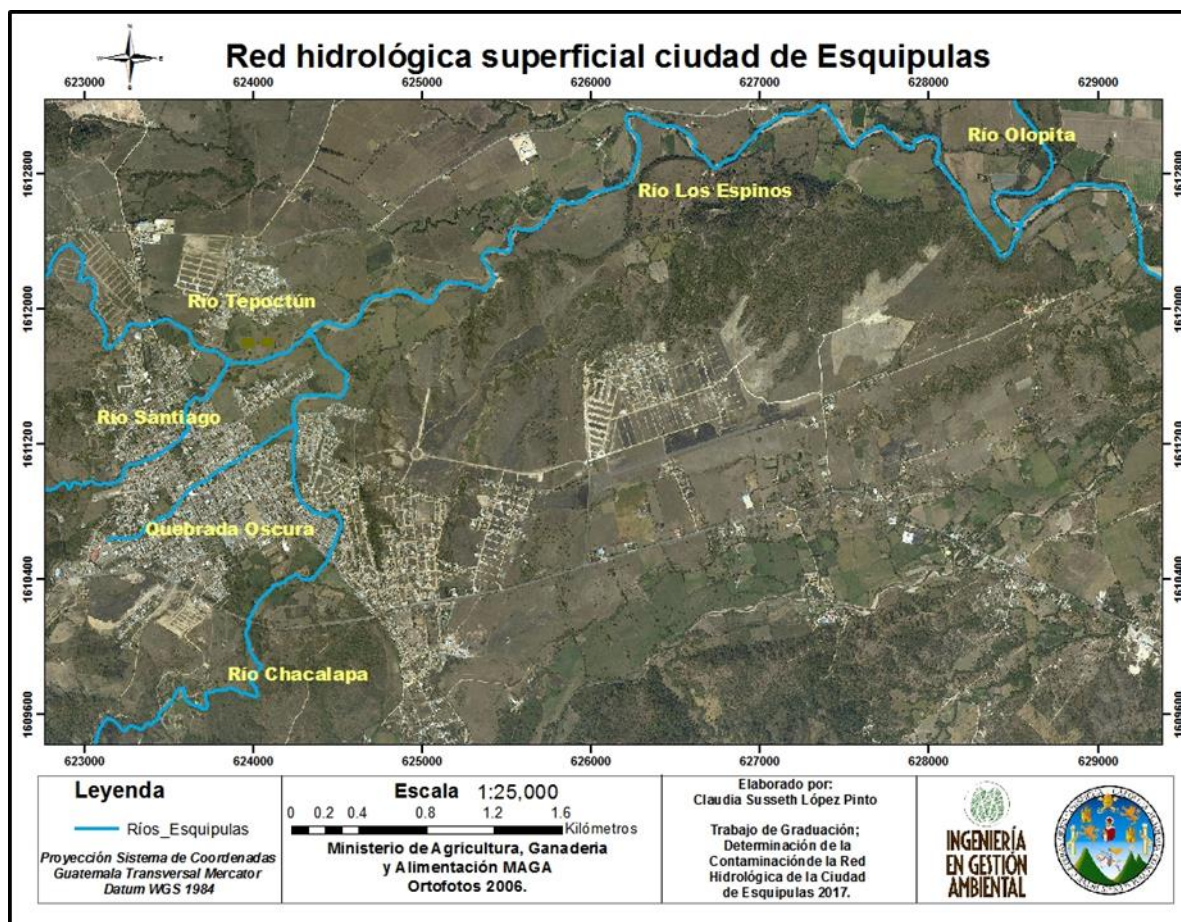
Con el propósito de alcanzar los objetivos de la investigación se estableció una serie de puntos de control sobre la red hidrológica superficial que se ubica dentro de la ciudad y en el área cercana a esta; es decir sobre los ríos Tepoctún, Chacalapa, Santiago, quebrada Oscura, río Los Espinos y río Olopita. Dichos puntos se establecieron utilizando el criterio siguiente: en los ríos que atraviesan la ciudad, el primer punto se ubicó 100 metros antes que este ingresara a la misma y el segundo punto 100 metros previo a la desembocadura de cada río; bajo este criterio se establecieron un total de 16 puntos de control sobre la red hidrológica superficial. En el cuadro 8, se muestra la ubicación de los puntos de control.

En la figura 11, se muestra la red hidrológica superficial que atraviesa la ciudad de Esquipulas, conformada por los ríos: Tepoctún, Chacalapa, Santiago, quebrada Oscura, Los Espinos y río Olopita. Es importante indicar que se consideró establecer puntos de control sobre el río Los Milagros y Olopita aunque estos están fuera del perímetro urbano debido a la influencia que puede tener la descarga de aguas residuales de la ciudad sobre la calidad de agua de los mismos.

Cuadro 8. Ubicación de los puntos de control sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas 2017.

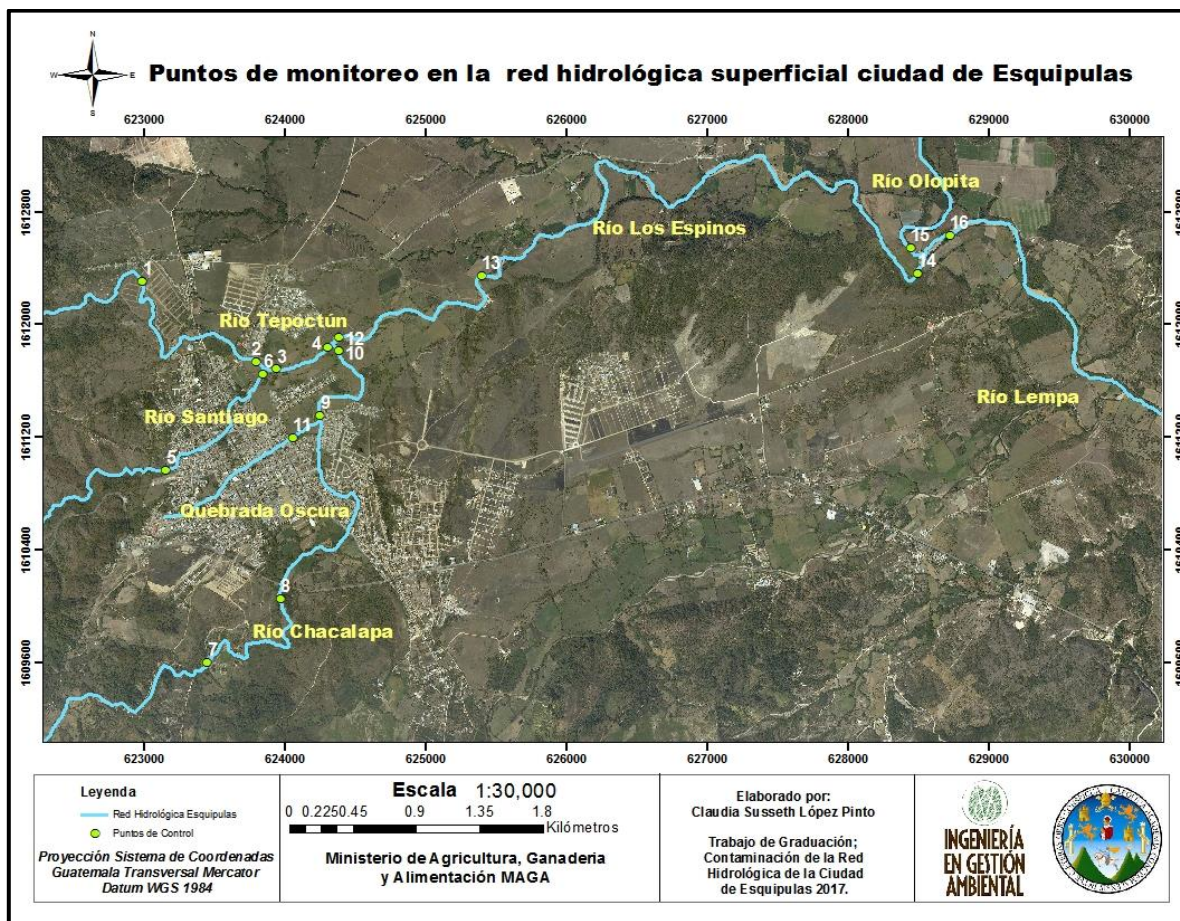
Coordenadas geográficas de los puntos de control sobre la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas			
Punto de control	Ubicación del punto de control	Sistema de Coordenas GSW 1984	
		X	Y
Río Tepoctún 1	Col. Colinas de Santa Lucía	623846	1611691
Río Tepoctún 2	Barrio San Joaquín	623818	1611719
Río Tepoctún 3	Barrio San Joaquín	623846	1611695
Río Tepoctún 4	Residenciales del Valle	627378	1610318
Río Santiago 1	Col. San Juan	622984	1610998
Río Santiago 2	Barrio San Joaquín	627312	1610127
Río Chacalapa 1	Cueva de las minas	623437	1609564
Río Chacalapa 2	puente los milagros	623966	1610021
Río Chacalapa 3	Col. San Mateo 2	624237	1611396
Río Chacalapa 4	Residenciales del Valle	624328	1611859
Quebrada Oscura 1	Col. San Mateo 1	624019	1611178
Río Los Espinos 1	Residenciales del Valle	624326	1611875
Río Los Espinos 2	Residenciales del Bosque	625394	1612269
Río Los Espinos 3	Aldea Atulapa	628496	1612393
Río Olopita 1	Aldea Atulapa	624018	1611179
Río Olopita 2	Aldea Atulapa	628682	1612604

Figura 11. Mapa de la red hidrológica superficial en la ciudad de Esquipulas.



En la figura 12, se presentan la ubicación de los 16 puntos de control sobre la red hidrológica superficial, donde se puede observar que la quebrada Oscura se estableció únicamente un punto de control, debido a que buena parte de esta corriente esta recubierta por las construcciones de la ciudad.

Figura 12. Mapa de los puntos de control establecidos sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.



8.2 Identificación de puntos de descarga de aguas residuales sobre la red hidrológica superficial

Para identificar los puntos de descarga de aguas residuales que desembocan sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas, se realizó un transecto sobre el cauce de cada corriente, identificando de forma visual los puntos de descarga de agua residuales. De acuerdo a los resultados se identificaron 13 puntos de descargas de aguas residuales, considerando hacer la aclaración que existan puntos que no fueron identificados, debido a las construcciones existentes sobre el cauce o cerca del cauce del río. También se realizó una clasificación de los puntos de descarga considerando el siguiente criterio: descargas primarias, aquellos puntos que descargan aguas residuales de una zona o conjunto de zonas, así como de un conjunto de barrios o bien de un conjunto de colonias; descargas secundarias aquellos puntos que provienen de una

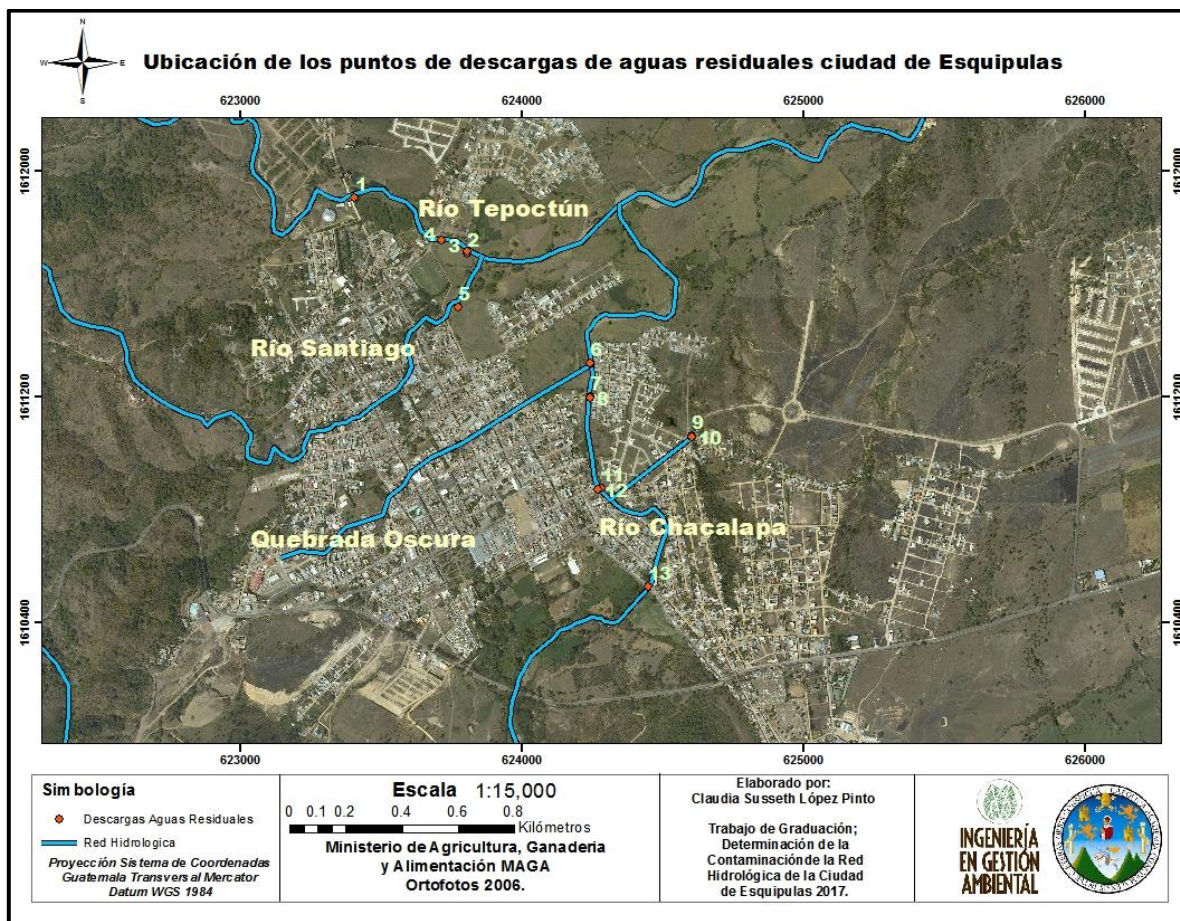
colonia o residencial y por último descargas terciarias las cuales provienen de una vivienda o comercio en particular (ver cuadro 9).

Cuadro 9. Puntos de descarga de aguas residuales a la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.

Clasificación de los tipos de descarga de aguas residuales								
No. Descarga	Ubicación de la descarga de aguas residuales	Barrios, colonias, residenciales y caserios, que descargan aguas residuales	Fuente a la que descargan	Tipo de descarga			Coordenadas de los puntos de descarga de aguas residuales	
				Primaria	Secundaria	Terciaria	X	Y
1	Barrio Santa Ana	Col. Los Arcos	Río Tepoctún		x		623407	1611906
2	Barrio San Joaquín	Residenciales Quinta Bella, Barrio Santa Ana, Caserio El Clavo.		x			623805	1611707
3	Barrio San Joaquín	Mercado Municipal Barrio San Joaquín				x	623805	1611716
4	Barrio San Joaquín	Mercado Municipal Barrio San Joaquín				x	623717	1611756
5	Barrio San Joaquín	Barrio Palo Negro, Barrio San Gudelia, Barrio San Joaquín, Barrio San Tiaguito	Río Santiago	x			623774	1611517
6	Col. San Mateo 1	Parte 1 Barrio San Sebastián, Parte 1 Barrio San Joaquín	Quebrada Oscura	x			624243	1611317
7	Col. San Mateo 1	Centro de Esquipulas, Col. Quirio Cataño 1 y 2, Parte 2 Barrio San Joaquín	Río Chacalapa	x			624243	1611200
8	Col. San Mateo 2	Col. San Mateo 2			x		624242	1611195
9	Col. Vista Hermosa	Parte 1 Col. Vista Hermosa, Parte 1 Col. Los Pinos			x		624604	1611059
10	Col. Vista Hermosa	Col. Los Pinos Parte 2			x		624605	1611055
11	Col. Santa Marta	Parte 2 Col. Vista Hermosa			x		624282	1610875
12	Col. Santa Marta	Parte 2 Barrio San Sebastian y Parte 2 Col.Vista Hermosa		x			624271	1610871
13	Barrio Chacalapa	Barrio Chacalapa y Parte 3 Col. Vista Hermosa		x			624450	1610525
Tipos de descarga:								
1. Primaria: captan las aguas residuales de varios barrios, colonias o residenciales del casco urbano.								
2. Secundarias: concentran las aguas residuales de una colonia o residenciales								
3. Terciaria: descargas de un único comercio o vivienda								

En la figura 13, se muestran los puntos de descarga de aguas residuales, donde se observa que en el río Chacalapa se identificaron 3 puntos de descarga primarios y 4 secundarios; en el río Tepoctún se identificó una descarga principal, una descarga secundaria y dos descargas terciarias; en los ríos Santiago y la quebrada Oscura un punto primario en cada uno.

Figura 13. Puntos de descarga de aguas residuales, red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.



8.2.1 Aforo de los principales puntos de descarga de aguas residuales

En el cuadro 10, se muestran los resultados de los aforos realizados en los puntos principales de descarga de aguas residuales, llevados a cabo en el mes de septiembre, trabajo efectuado por personal técnico de la municipalidad de la ciudad de Esquipulas en el año 2017. La corriente superficial que mayor caudal de aguas residuales recibe es la quebrada Oscura con un caudal aproximado de 4243.39 m³/día.

Cuadro 10. Resultados del aforo realizado en los principales puntos de descarga de aguas residuales sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.

Aforos de los principales puntos de descarga de aguas residuales a la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas, 2017.						
Ubicación de la descarga de aguas residuales	Barrios, colonias, residenciales y caseríos, que descargan aguas residuales	Fuente a la que descargan	Caudal m ³ /día			
			Día 1	Día 2	Día 3	Promedio
Barrio Santa Ana	Col. Los Arcos	Río Tepoctún	2878.64	3057.66	3226.65	3054.32
Barrio San Joaquín	Residenciales Quinta Bella, Barrio Santa Ana, Caserio El Clavo.		99.99	113.76	101.4	105.05
Barrio San Joaquín	Barrio Palo Negro, Barrio San Gudelia, Barrio San Joaquín, Barrio San Tiaguito	Río Santiago	170.67	232.48	219.78	207.64
Col. San Mateo 1	Parte 1 Barrio San Sebastián, Parte 1 Barrio San Joaquín	Quebrada Oscura	4112.43	4203.2	4414.54	4243.39
Col. San Mateo 1	Centro de Esquipulas, Col. Quirio Cataño 1 y 2, Parte 2 Barrio San Joaquín	Río Chacalapa	72.96	85.38	82.31	80.22
Col. Vista Hermosa	Parte 1 Col. Vista Hermosa, Parte 1 Col. Los Pinos		91.33	86.24	111.56	96.38
Col. Santa Marta	Parte 2 Barrio San Sebastian y Parte 2 Col.Vista Hermosa		118.43	116.47	116.47	117.12
Barrio Chacalapa	Barrio Chacalapa y Parte 3 Col. Vista Hermosa		685.52	725.99	662.19	691.23

Fuente: Municipalidad de Esquipulas (2017).

8.3 Parámetros físicos-químicos y bacteriológicos

Se realizaron tres monitoreos espaciados por tres meses cada uno, en los meses de abril, julio y septiembre de 2017. Se tomaron muestras simples de agua de la corriente superficial las cuales fueron analizadas en el laboratorio ambiental de la carrera de Ingeniería Gestión Ambiental del Centro Universitario de Oriente, donde se llevaron a cabo análisis físicos-químicos y microbiológicos. Los parámetros analizados fueron: temperatura, potencial de hidrógeno, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, conductividad eléctrica, sólidos totales y sólidos disueltos totales, turbidez, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), nitratos, fosfatos, bacterias coliformes totales, bacterias coliformes fecales y *Escherichia Coli*. El cuadro 14, muestra el promedio de los parámetros por punto de monitoreo.

Cuadro 11. Promedio de los parámetros físico-químico y bacteriológico evaluados a los puntos de control establecidos, en la red hidrológica ciudad de Esquipulas.

Promedios de los parámetros por punto de control																
Parámetros	Unidades de medida	Río Tepoctún				Río Santiago		Río Chacalapa				Río Los Espinos			Río Olopita	
		Punto de control 1	Punto de control 2	Punto de control 3	Punto de control 4	Punto de control 1	Punto de control 2	Punto de control 1	Punto de control 2	Punto de control 3	Punto de control 4	Punto de control 1	Punto de control 2	Punto de control 3	Punto de control 1	Punto de control 2
Temperatura	°C	23.18	22.03	22.97	23.37	24.71	22.41	24.42	25.73	25.03	23.63	25.07	25.33	26.08	25.83	26.20
pH	Unidades de pH	7.14	6.64	7.24	7.24	7.24	7.18	7.54	7.84	7.27	7.15	7.15	7.27	7.47	7.31	7.22
Oxígeno disuelto	mg/l	5.36	5.91	4.27	4.54	6.46	4.97	5.94	6.05	2.56	3.56	2.89	2.52	4.91	5.62	5.53
Porcentaje saturación de oxígeno	% saturación	83.50	104.20	65.02	71.22	97.87	76.25	95.08	99.71	61.91	60.16	59.85	57.99	91.31	97.35	94.58
Conductividad eléctrica	uS/cm	213.47	290.20	265.67	280.99	252.87	265.61	165.11	163.23	232.47	270.35	279.49	270.32	223.42	138.11	178.84
Sólidos totales	mg/l	286.67	382.67	1480.00	1005.33	374.67	610.67	301.33	578.67	1009.33	394.67	229.33	265.33	285.33	190.67	350.67
Sólidos disueltos totales	mg/l	80.88	112.28	115.92	120.58	110.20	117.21	77.24	68.80	103.78	126.23	128.48	120.36	100.69	61.27	81.43
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	6.72	16.35	55.75	38.65	9.85	33.55	9.90	17.90	46.70	43.85	53.40	27.75	12.20	12.65	10.55
Turbidez	NTU	17.47	276.77	127.69	96.14	35.07	190.07	23.40	48.34	115.97	106.20	106.32	89.78	74.08	68.09	75.00
Nitratos	mg/l	0.07	0.08	0.10	0.13	0.76	0.09	0.07	0.47	0.07	0.13	0.11	0.10	0.14	0.12	0.15
Fosfatos	mg/l	2.34	6.51	7.41	6.60	1.65	7.37	1.37	1.24	6.35	7.01	7.15	7.01	5.33	1.61	3.75
Coliformes totales	NMP/100 ml	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
Coliformes fecales	NMP/100 ml	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	1625.00	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	1631.00
<i>Escherichia Coli</i>	NMP/100 ml	≥ 2400	≥ 2400	1680.00	1966.67	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	1603.67	1753.33	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400

8.3.1 Temperatura del agua °C

La temperatura tiene incidencia sobre varios parámetros físicos y químicos, influye en el comportamiento de otros parámetros como: pH, oxígeno disuelto y en la conductividad eléctrica del agua; además, es condicionante para la existencia de microorganismos en el medio acuático. El aumento de la temperatura en el agua disminuye el oxígeno, limitando su disponibilidad para los seres, facilitando el incremento de sales y las reacciones metabólicas que conducen a la putrefacción.

El cuadro 12, muestra los resultados de la temperatura del agua en cada uno de los puntos de control establecidos sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas. Se puede observar que el promedio de la temperatura oscila entre 22.04 a 26.20 °C; dicho parámetro se encuentra dentro los valores establecidos en el límite máximo aceptable y el límite máximo permisible establecidos por la norma COGUANOR.

El en el punto de control río Tepoctún 2, es el que presentó el menor valor promedio de temperatura (22.03 °C) y el río Olopita en el punto de control 2 es el que presentó el mayor promedio de temperatura (26.20 °C). Esta variación puede ser ocasionada por los altos niveles de contaminación en este punto del río y también puede estar influenciada por los cambios de temperatura que se dan durante el día.

Cuadro 12. Valores por monitoreo y promedio de la temperatura del agua, en la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.

Temperatura del agua °C					
Rio/Quebada	Punto de control	1er. Monitoreo (Abr. 2017)	2do. Monitoreo (Jul. 2017)	3er. Monitoreo (Sep. 2017)	Promedio
Río Tepoctún	Río Tepoctún 1	23.80	23.00	22.73	23.18
	Río Tepoctún 2	26.20	18.00	21.90	22.03
	Río Tepoctún 3	26.40	20.00	22.50	22.97
	Río Tepoctún 4	28.20	19.00	22.90	23.37
Rio Santiago	Río Santiago 1	27.80	23.00	23.33	24.71
	Río Santiago 2	26.57	18.00	22.67	22.41
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	25.90	23.00	24.37	24.42
	Río Chacalapa 2	30.20	22.00	25.00	25.73
	Río Chacalapa 3	26.70	23.00	25.40	25.03
	Río Chacalapa 4	28.10	19.00	23.80	23.63
Quebrada Oscura	Quebrada Oscura 1	25.20	22.50	24.40	24.03
Los Espinos	Río Los Espinos 1	28.10	24.10	23.00	25.07
	Río Los Espinos 2	29.70	21.00	25.30	25.33
	Río Los Espinos 3	30.23	23.00	25.00	26.08
Rio Olopita	Río Olopita 1	29.30	22.90	25.30	25.83
	Río Olopita 2	29.60	23.30	25.70	26.20
LMA 15.0 a 25 °C			LMP 34.0 °C		
Temperatura: el aumento de la temperatura disminuye el oxígeno en el agua, dificultando la vida de algunas especies, facilitando el aumento de sales y reacciones metabólicas que conducen a la putrefacción. Este parámetro se evaluó en los diferentes puntos de control, establecidos sobre la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas. Los datos presentados fueron analizados en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente CUNORI.					

8.3.2 Potencial de hidrógeno

El pH define la acidez o alcalinidad del agua, es un indicador de calidad determinante para la vida de las especies en el medio acuático; valores por debajo de 7 indican agua con acidez y valores por encima de 8 agua en condiciones de alcalinidad. Este parámetro es uno de los más importantes que están relacionados directamente con la calidad del agua para diferentes usos.

En el cuadro 13, se presentan los resultados del potencial de hidrógeno del agua en los 16 puntos de control establecidos sobre la red hidrológica; para cada uno de los tres monitoreos y el valor promedio; estos muestran que el pH en la totalidad de los puntos de control está dentro del límite máximo permisible establecido por la norma COGUANOR. El punto de control que presenta el valor de pH menor es el punto de

control río Tepoctún 2, con 6.64 unidades; el punto de control con el mayor valor de pH corresponde al punto de control río Chacalapa 2 con 7.84 unidades.

Cuadro 13. Valores por monitoreo y promedio de pH, en la red hidrológica superficial de Esquipulas.

Potencial de Hidrógeno					
Rio/Quebada	Punto de control	1er. Monitoreo (Abr. 2017)	2do. Monitoreo (Jul. 2017)	3er. Monitoreo (Sep. 2017)	Promedio
Río Tepoctún	Río Tepoctun 1	6.87	6.76	7.78	7.14
	Río Tepoctun 2	6.89	6.52	6.52	6.64
	Río Tepoctun 3	7.02	6.87	7.82	7.24
	Río Tepoctun 4	7.02	6.93	7.78	7.24
Río Santiago	Río Santiago 1	7.23	6.56	7.94	7.24
	Río Santiago 2	7.01	6.62	7.91	7.18
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	7.68	6.87	8.08	7.54
	Río Chacalapa 2	8.56	6.96	8.01	7.84
	Río Chacalapa 3	7.12	6.91	7.79	7.27
	Río Chacalapa 4	7.01	6.82	7.63	7.15
Quebrada Oscura	Quebrada Oscura 1	7	6.92	7.72	7.21
Los Espinos	Río Los Espinos 1	6.92	6.9	7.62	7.15
	Río Los Espinos 2	7.12	7.01	7.67	7.27
	Río Los Espinos 3	7.49	7.13	7.8	7.47
Río Olopita	Río Olopita 1	7.15	7.13	7.65	7.31
	Río Olopita 2	6.82	7.18	7.68	7.22
LMA 7.0 - 7.5 unidades de pH			LMP 6.5 - 8.5 unidades de pH		
Potencial de hidrógeno ó pH: indica la acidez o alcalinidad del agua, el rango de medición es de 0 a 14 unidades, siendo 7 la unidad básica (o rango neutral). Éste parametro fue analizado en los tres monitoreos realizados a los puntos de control de la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas. Los datos presentados se obtuvieron en el laboratorio ambiental de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental, CUNORI.					

8.3.3 Oxígeno disuelto

EL oxígeno disuelto procede principalmente de dos fuentes, el oxígeno atrapado de la atmósfera, que el agua lo adquiere por movimiento constante en las corrientes superficiales y el oxígeno disuelto en el agua producto de reacciones fotosintéticas por el fitoplancton, las algas y plantas acuáticas.

El cuadro 14, muestra los resultados de oxígeno disuelto del agua en cada uno de los puntos de control establecidos sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas, donde se observa que el promedio del oxígeno disuelto se encuentra entre 2.56 mg/l a 8.08 mg/l, dicho parámetro está dentro de los valores establecidos por el límite máximo aceptable y el límite máximo permisible establecidos por la norma COGUANOR.

El punto de control río Chacalapa 3, presentó el menor valor promedio de oxígeno disuelto (5.25 mg/l) y el resto de los puntos de control se encuentran bajo los límites máximo aceptable, excepto la quebrada Oscura, en el punto de control quebrada Oscura 1, muestra el mayor promedio de oxígeno disuelto (8.08 mg/l), es el único punto que supera el límite máximo aceptable y el límite máximo permisible; debido a que en el lugar no hay vegetación y la topografía semiplana, la corriente disminuye la presión y la generación de oxígeno.

Cuadro 14. Valores por monitoreo y promedio de oxígeno disuelto, en la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas.

Oxígeno disuelto en mg/l					
Nombre Río/Quebada	Punto de control	1er. Monitoreo (Abr. 2017)	2do. Monitoreo (Jul. 2017)	3er. Monitoreo (Sep. 2017)	Promedio
Río Tepoctún	Río Tepoctún 1	4.36	4.2	7.51	5.36
	Río Tepoctún 2	4.79	8.25	4.68	5.91
	Río Tepoctún 3	2.11	4.85	5.86	4.27
	Río Tepoctún 4	3.39	4.35	5.88	4.54
Río Santiago	Río Santiago 1	8.69	3.45	7.25	6.46
	Río Santiago 2	4.58	4.25	6.08	4.97
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	7.68	3	7.13	5.94
	Río Chacalapa 2	8.52	2.5	7.12	6.05
	Río Chacalapa 3	0.29	1.3	6.09	2.56
	Río Chacalapa 4	1.02	4.25	5.42	3.56
Quebrada Oscura	Quebrada Oscura 1	0.35	20.25	3.64	8.08
Río Los Espinos	Río Los Espinos 1	1.14	1.85	5.67	2.89
	Río Los Espinos 2	0.3	1.15	6.12	2.52
	Río Los Espinos 3	4.82	2.9	7.01	4.91
Río Olopita	Río Olopita 1	7.82	2.45	6.59	5.62
	Río Olopita 2	5.39	4.25	6.96	5.53
LMA 8		LMP 4			
Oxígeno disuelto mg/l: la presencia de oxígeno en el agua representa la biodiversidad y el desarrollo de vida acuática, este parámetro se midió a los 16 puntos de control establecidos sobre la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas, los datos presentados son el resultado de los análisis realizados en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente, CUNORI.					

8.3.4 Porcentaje de saturación de oxígeno

Hace referencia a la disponibilidad de oxígeno en el agua en un medio natural con condiciones adecuadas, la cantidad de oxígeno soluble es fija y se le denomina saturación, aunque en el medio hay diversos factores que pueden hacer que la cantidad

de oxígeno varíe; un medio acuático con diversidad de organismos productores de oxígeno, generan más de la que el agua puede disolver, entonces decimos que el cauce esta sobre saturado; por el contrario, si existe un consumo excesivo de saturación y el porcentaje se aleja del punto de saturación decimos que hay un déficit de oxígeno.

El cuadro 15, muestra los resultados de los monitoreos del porcentaje de saturación del oxígeno de los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de Esquipulas, el promedio oscila entre 37.76 a 104.20 % SAT, por lo que este último sobrepasa el límite máximo permisible establecido por las normas COGUANOR, es importante mencionar que el resto de puntos están dentro de los límites establecidos.

El punto de control río Tepoctún 2 presenta el mayor promedio del porcentaje de saturación del oxígeno (104.20 % SAT), es causado por la diversidad de organismos productores de oxígeno, es imposible poder disolver la acumulación del mismo, encontrándose en un estado de saturación; el menor valor promedio (37.76 % SAT) de oxígeno se observa en el punto de control, quebrada Oscura 1 y el resto de puntos de control muestran valores por debajo del límite máximo permisible (LMP) presentan un déficit de oxígeno, restringiendo los procesos biológicos de la red hidrológica superficial.

Cuadro 15. Valores por monitoreo y promedio de oxígeno disuelto en % SAT, en la red hidrológica superficial de Esquipulas.

Oxígeno disuelto % SAT					
Nombre Río/Quebada	Punto de control	1er. Monitoreo (Abr. 2017)	2do. Monitoreo (Jul. 2017)	3er. Monitoreo (Sep. 2017)	Promedio
Río Tepoctún	Río Tepoctún 1	51.33	101.27	97.9	83.50
	Río Tepoctún 2	56.5	96.3	159.8	104.20
	Río Tepoctún 3	23.43	95.67	75.97	65.02
	Río Tepoctún 4	38.7	98.4	76.57	71.22
Río Santiago	Río Santiago 1	97.47	100.57	95.56	97.87
	Río Santiago 2	53.3	96.63	78.83	76.25
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	88.3	100.43	96.5	95.08
	Río Chacalapa 2	101.43	100.46	97.23	99.71
	Río Chacalapa 3	3.4	98.8	83.53	61.91
	Río Chacalapa 4	12.92	96.23	71.33	60.16
Quebrada Oscura	Quebrada Oscura 1	4.37	59.9	49	37.76
Río Los Espinos	Río Los Espinos 1	12.73	92.93	73.9	59.85
	Río Los Espinos 2	4.83	85.97	83.17	57.99
	Río Los Espinos 3	79.97	99.13	94.83	91.31
Río Olopita	Río Olopita 1	103.8	98.63	89.63	97.35
	Río Olopita 2	90.43	98.93	94.37	94.58
LMA			LMP 80 a 100		
Oxígeno Disuelto % SAT: Cuando en un medio acuático con diversidad de organismos productores de oxígeno, producen más de la que el agua puede disolver, decimos que el cauce esta sobre saturado. Éste parametro se tomo a los puntos de control sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas durante los tres monitoreos, y los datos presentados son el resultado de los análisis realizados en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente, CUNORI.					

8.3.5 Conductividad eléctrica del agua

Representa la cantidad de iones disueltos en un medio, determina la capacidad de conducir electricidad, está relacionada con la cantidad de materia sólida flotante (sales) y la dureza el agua; la temperatura es un factor clave que se relaciona con la conducción de electricidad en un cuerpo de agua. La conductividad aumenta un 2% por grado centígrado de temperatura.

En el cuadro 16, se presentan los valores de la conductividad eléctrica en los puntos de control para cada monitoreo y los valores promedio. Los resultados muestran que en promedio la conductividad eléctrica del agua está entre 138.11 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 351.43 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los cuales se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma COGUANOR.

El punto de control quebrada Oscura 1, es el que presenta el mayor valor promedio de conductividad eléctrica (351.43 $\mu\text{S/cm}$), debido a la descarga de aguas residuales provenientes del rastro municipal sin tratamiento, provocando cambios en la calidad del agua. El punto c control río Olopita 1 es el que presenta menor valor promedio de conductividad eléctrica (138.11 $\mu\text{S/cm}$). Así mismo se puede observar del mes de abril fue el que mostró mayores niveles de conductividad eléctrica, por la época seca donde los ríos reducen considerablemente su caudal aumentando los niveles de contaminación.

Cuadro 16. Valores por monitoreo y promedio de la conductividad eléctrica del agua, en la red hidrológica superficial de Esquipulas.

Conductividad eléctrica del agua uS/cm					
Río/Quebada	Punto de control	1er. Monitoreo (Abr. 2017)	2do. Monitoreo (Jul. 2017)	3er. Monitoreo (Sep. 2017)	Promedio
Río Tepoctún	Río Tepoctún 1	327.67	128.9	183.83	213.47
	Río Tepoctún 2	523	139.9	207.7	290.20
	Río Tepoctún 3	425.7	140.3	231	265.67
	Río Tepoctún 4	474.67	146.3	222	280.99
Río Santiago	Río Santiago 1	431.33	130.57	196.7	252.87
	Río Santiago 2	415	150.83	231	265.61
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	306.33	79	110	165.11
	Río Chacalapa 2	275	90.6	124.1	163.23
	Río Chacalapa 3	444	103.33	150.07	232.47
	Río Chacalapa 4	493	147.13	170.93	270.35
Quebrada Oscura	Quebrada Oscura 1	435.3	294.33	324.67	351.43
Río Los Espinos	Río Los Espinos 1	491	147.1	200.37	279.49
	Río Los Espinos 2	479	136.1	195.87	270.32
	Río Los Espinos 3	463	110.4	96.87	223.42
Río Olopita	Río Olopita 1	218.23	96.57	99.53	138.11
	Río Olopita 2	344	97.3	95.23	178.84
LMA no está establecido en la norma			LMP menor de 1,500		
Conductividad en el agua: representa la cantidad de iones disueltos en un medio, esto determina la capacidad de producir electricidad. Éste parametro fue analizado en los tres monitoreos realizados a los puntos de control de la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas. Los datos presentados se obtuvieron en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente CUNORI.					

8.3.6 Sólidos totales

Hacen referencia a la estimación de materia disuelta y suspendida en el agua, los sólidos totales pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua y están estrechamente ligados con la turbidez.

Las normas guatemaltecas que establecen los límites aceptables y permisibles, no establecen un rango promedio sobre el valor de sólidos totales para un cuerpo de agua. Sin embargo, se aconseja valores por debajo de los 500 mg/l según la OMS (Organización Mundial de la Salud). Los promedios de los puntos de control 3 y 4, correspondientes al río Tepoctún y el punto de control río Chacalapa 3, duplican lo recomendado por la OMS, debido a la carga de contaminación que reciben por descargas de aguas residuales de la ciudad sin previo tratamiento, y a la erosión del suelo en época lluviosa.

Cuadro 17. Valores por monitoreo y promedio de solidos totales, red hidrológica superficial de Esquipulas.

Solidos totales mg/l					
Rio/Quebada	Punto de control	1er. Monitoreo (Abr. 2017)	2do. Monitoreo (Jul. 2017)	3er. Monitoreo (Sep. 2017)	Promedio
Río Tepoctún	Río Tepoctún 1	256	420	184	286.67
	Río Tepoctún 2	452	516	180	382.67
	Río Tepoctún 3	380	3840	220	1480.00
	Río Tepoctún 4	360	2448	208	1005.33
Río Santiago	Río Santiago 1	336	400	388	374.67
	Río Santiago 2	376	1240	216	610.67
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	200	520	184	301.33
	Río Chacalapa 2	192	1364	180	578.67
	Río Chacalapa 3	392	2420	216	1009.33
	Río Chacalapa 4	336	404	444	394.67
Quebrada Oscura	Quebrada Oscura 1	388	400	320	369.33
Río Los Espinos	Río Los Espinos 1	340	264	84	229.33
	Río Los Espinos 2	276	296	224	265.33
	Río Los Espinos 3	236	408	212	285.33
Río Olopita	Río Olopita 1	172	176	224	190.67
	Río Olopita 2	208	604	240	350.67
LMA no está establecido en la norma			LMP no esta establecido en la norma		
Sólidos Totales: Hace referencia a la estimación de materia disuelta y suspendida en el agua. Éste parametro fue analizado en los tres monitoreos realizados a los puntos de control de la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas. Los datos presentados se obtuvieron en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente CUNORI.					

8.3.7 Turbidez

Representa el número de partículas flotantes que impiden visualizar el fondo de una corriente debido a la falta de la transparencia del agua, e impiden que la luz puede introducirse debido a la abundancia de materia orgánica, fitoplancton y arcillas

procedentes de la erosión del suelo, este parámetro se representa en unidades nefelométricas de tramotancia NTU (por sus siglas en inglés).

El cuadro 18, muestra los valores promedio del comportamiento de la turbidez en la red hidrológica superficial de ciudad de Esquipulas, el límite máximo permisible establece que el agua debe de registrar valores menores a 15 NTU, sin embargo, en todos los puntos de control los valores son superiores hasta 300 NTU; debido al déficit de oxígeno y la temperatura del agua por presencia de material flotante que impide la absorción de luz solar; razón por la que los cuerpos de agua evaluados no se observó presencia de flora y fauna, únicamente hay presencia de organismo anaerobios como lo demuestran los resultados de laboratorio.

Cuadro 18. Valores por monitoreo y promedio de turbidez, en la red hidrológica superficial de Esquipulas.

Turbidez en NTU					
Río/Quebada	Punto de control	1er. Monitoreo (Abr. 2017)	2do. Monitoreo (Jul. 2017)	3er. Monitoreo (Sep. 2017)	Promedio
Río Tepoctún	Río Tepoctún 1	2.06	43.00	7.35	17.47
	Río Tepoctún 2	769.00	53.00	8.30	276.77
	Río Tepoctún 3	218.00	142.00	23.06	127.69
	Río Tepoctún 4	134.00	137.00	17.43	96.14
Río Santiago	Río Santiago 1	20.00	71.80	13.40	35.07
	Río Santiago 2	217.00	332.00	21.20	190.07
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	5.00	49.00	16.20	23.40
	Río Chacalapa 2	46.00	80.00	19.01	48.34
	Río Chacalapa 3	192.00	112.00	43.90	115.97
	Río Chacalapa 4	155.00	100.00	63.60	106.20
Quebrada Oscura	Quebrada Oscura 1	300.00	264.00	89.43	217.81
Río Los Espinos	Río Los Espinos 1	148.00	126.00	44.97	106.32
	Río Los Espinos 2	74.00	152.00	43.35	89.78
	Río Los Espinos 3	23.00	113.00	86.25	74.08
Río Olopita	Río Olopita 1	7.00	115.00	82.27	68.09
	Río Olopita 2	18.00	122.00	85.00	75.00
LMA 5			LMP 15		
Turbidez: representa el número de partículas flotantes que impiden que la luz puede introducirse, debido a la cantidad de materia orgánica en el agua. Este parámetro se evaluó en los diferentes puntos de control, establecidos sobre la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas. Los datos presentados fueron analizados en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente, CUNORI.					

8.3.8 Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos totales representan la suma de sales inorgánicas (como calcio, magnesio, cloruro, bicarbonato, sulfatos, potasios entre otros), así como cantidades pequeñas de materia orgánica que están disueltas en el cuerpo de agua. Su presencia en niveles altos indica un alto índice de contaminación.

El cuadro 19, muestra los resultados de sólidos disueltos totales en los puntos de control establecidos sobre la red hidrológica, donde se puede observar que estos no superan el límite máximo aceptable (LMA) y el límite máximo permisible (LMP) establecidos por las normas COGUANOR. El comportamiento de los sólidos disueltos totales indica que la concentración de sales inorgánicas es inferior a lo establecido en la normativa, sin embargo, esto no indica que el agua es de buena calidad para ser utilizada para consumo humano y actividades domésticas sin previo tratamiento, y es necesario considerar el resto de parámetros.

Cuadro 19. Valores de los sólidos totales disueltos, en la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.

Sólidos Disueltos Totales TDS (mg/l)					
Río/Quebada	Punto de control	1er. Monitoreo (Abr. 2017)	2do. Monitoreo (Jul. 2017)	3er. Monitoreo (Sep. 2017)	Promedio
Río Tepoctún	Río Tepoctún 1	161.07	65.47	16.1	80.88
	Río Tepoctún 2	247	72	17.85	112.28
	Río Tepoctún 3	202.77	72	73	115.92
	Río Tepoctún 4	215.1	74.3	72.34	120.58
Río Santiago	Río Santiago 1	196.37	65.63	68.6	110.20
	Río Santiago 2	193.87	77.4	80.36	117.21
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	145.43	40.33	45.97	77.24
	Río Chacalapa 2	118.4	45.2	42.8	68.80
	Río Chacalapa 3	207.33	51	53	103.78
	Río Chacalapa 4	224	75.23	79.47	126.23
Quebrada Oscura	Quebrada Oscura 1	209.77	144.43	127.2	160.47
Río Los Espinos	Río Los Espinos 1	223	74.73	87.7	128.48
	Río Los Espinos 2	210.57	68.5	82	120.36
	Río Los Espinos 3	201.43	56.9	43.73	100.69
Río Olopita	Río Olopita 1	95.33	46	42.47	61.27
	Río Olopita 2	150.3	47.23	46.77	81.43
LMA 500 mg/l			LMP 1000 mg/l		
Los sólidos disueltos totales: comprenden la suma de sales inorgánicas, como cantidades pequeñas de materia orgánica que están disueltas en un cuerpo de agua. Éste parametro fue analizado en los tres monitoreos realizados a los puntos de control de la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas. Los datos presentados se obtuvieron en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente CUNORI.					

8.3.9 Demanda bioquímica de oxígeno DBO₅

Está referida a la cantidad de oxígeno que necesitan las bacterias para oxidar la materia orgánica de un líquido residual, es una medida cuantificable del grado de contaminación del agua evaluada en laboratorio, este resultado expresa la cantidad demandada de oxígeno por los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica en condiciones anaerobias.

El agua no debe de contener restos de materia orgánica, por lo que la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) no establece límites para la Demanda Bioquímica de Oxígeno -DBO₅-; la Norma Oficial Mexicana de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales -SEMARNAT- han establecido el límite máximo permisible -LMP- en 30 mg/l para cuerpos de agua de uso público y protección de la vida acuática.

El cuadro 20, muestra los resultados de DBO₅ de los puntos de control, donde observamos que el promedio de los mismos es superior al límite máximo permisible establecido por SEMARNAT, debido a las descargas de aguas residuales sobre la red hidrológica de la ciudad.

Cuadro 20. Valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅, en la red hidrológica superficial de la ciudad Esquipulas.

Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días DBO5 (mg/l)					
Río/Quebada	Punto de control	1er. Monitoreo (Abr. 2017)	2do. Monitoreo (Jul. 2017)	3er. Monitoreo (Sep. 2017)	Promedio
Río Tepoctún	Río Tepoctún 1	0.9	12.6	6.67	6.72
	Río Tepoctún 2	19.8	24.75	4.5	16.35
	Río Tepoctún 3	142.8	14.55	9.9	55.75
	Río Tepoctún 4	88.5	13.05	14.4	38.65
Río Santiago	Río Santiago 1	9.3	10.35	9.9	9.85
	Río Santiago 2	84.6	12.75	3.3	33.55
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	12.9	9	7.8	9.9
	Río Chacalapa 2	39.6	8.4	5.7	17.9
	Río Chacalapa 3	110.4	3.9	25.8	46.7
	Río Chacalapa 4	106.5	12.75	12.3	43.85
Quebrada Oscura	Quebrada Oscura 1	189.6	60.75	52.5	100.95
Río Los Espinos	Río Los Espinos 1	136.95	5.55	17.7	53.4
	Río Los Espinos 2	62.1	3.45	17.7	27.75
	Río Los Espinos 3	18.9	8.7	9	12.2
Río Olopita	Río Olopita 1	11.7	7.35	18.9	12.65
	Río Olopita 2	11.7	7.35	12.6	10.55
LMA no esta establecido en la norma			LMP 30 mg/l		
Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días DBO5: esta reflejada por la cantidad de oxígeno que se necesita para la oxidación de la materia orgánica, existente en un líquido residual. Éste parametro fue analizado en los tres monitoreos realizados a los puntos de control de la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas. Los datos presentados se obtuvieron en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente CUNORI.					

8.3.10 Nitratos

Son la parte final del ciclo del nitrógeno, las bacterias se encargan de transformar el amoníaco en sustancias menos tóxicas, llamadas nitratos, presentes en los cuerpos de agua, por descargas domésticas e industriales, la mayor fuente de contaminación por nitratos es la actividad agrícola, (fertilizantes y ganadería). El consumo de nitratos por el ser humano es perjudicial, mientras tanto acelera el crecimiento de algas en el medio acuático, facilitando la eutrofización.

El cuadro 21, muestra los resultados de nitratos, donde los promedios no superan el límite máximo permisible (10mg/l), a pesar de la descarga de aguas residuales sobre el cauce de los ríos sin previo tratamiento.

Cuadro 21. Valores de nitratos, analizados en el agua de hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.

Nitratos NO3- mg/l					
Río/Quebada	Punto de control	1er. Monitoreo (Abr. 2017)	2do. Monitoreo (Jul. 2017)	3er. Monitoreo (Sep. 2017)	Promedio
Río Tepoctún	Río Tepoctún 1	0.0645	0.0543	0.092	0.07
	Río Tepoctún 2	0.0645	0.0543	0.109	0.08
	Río Tepoctún 3	0.0645	0.1005	0.136	0.10
	Río Tepoctún 4	0.0645	0.1304	0.196	0.13
Río Santiago	Río Santiago 1	0.0645	2.1467	0.076	0.76
	Río Santiago 2	0.0645	0.0598	0.136	0.09
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	0.0645	0.0516	0.087	0.07
	Río Chacalapa 2	0.0645	0.0353	1.304	0.47
	Río Chacalapa 3	0.0645	0.1386	0.008	0.07
	Río Chacalapa 4	0.0645	0.1277	0.207	0.13
Quebrada Oscura	Quebrada Oscura 1	0.0645	0.1386	0.429	0.21
Río Los Espinos	Río Los Espinos 1	0.0645	0.1332	0.141	0.11
	Río Los Espinos 2	0.0645	0.1359	0.092	0.10
	Río Los Espinos 3	0.0645	0.1766	0.185	0.14
Río Olopita	Río Olopita 1	0.0645	0.0951	0.207	0.12
	Río Olopita 2	0.0645	0.1712	0.212	0.15
LMA no está establecido por la norma			LMP 10		
Nitratos: Los nitratos están presentes en los cuerpos de agua, producto de los vertidos de actividades domésticas e industriales, representa el final del ciclo del nitrógeno. Este parametro se tomo a los puntos de control sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas durante los tres monitoreos, y los datos presentados son el resultado de los análisis realizados en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente, CUNORI.					

8.3.11 Fosfatos

Los fosfatos son nutrientes esenciales para el crecimiento de plantas, al encontrarse en agua natural indican que esta sufre algún grado de contaminación, que puede provocar el crecimiento de algas y planta acuáticas las cuales reducen los niveles de oxígeno provocando la eutrofización de los ríos.

El cuadro 22, muestra que los niveles promedio de fosfatos superan el límite establecido por la norma COGUANOR, de 1.24 a 11.65 mg/l, la presencia de fosfatos indica que el agua superficial del río está contaminada por aguas residuales que en mayoría de los casos es de origen domiciliar.

Cuadro 22. Valores de fosfatos en el agua de la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.

Fosfatos (PO4 mg/l)					
Rio/Quebada	Punto de control	1er. Monitoreo (Abr. 2017)	2do. Monitoreo (Jul. 2017)	3er. Monitoreo (Sep. 2017)	Promedio
Río Tepoctún	Río Tepoctún 1	4.4667	1.0917	1.461	2.34
	Río Tepoctún 2	15.2944	1.5222	2.728	6.51
	Río Tepoctún 3	14.6111	2.3500	5.278	7.41
	Río Tepoctún 4	14.5000	1.8472	3.461	6.60
Río Santiago	Río Santiago 1	1.0056	2.0583	1.872	1.65
	Río Santiago 2	13.5194	3.0944	5.489	7.37
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	1.2667	1.1778	1.656	1.37
	Río Chacalapa 2	0.7278	1.4167	1.572	1.24
	Río Chacalapa 3	14.8889	1.8722	2.292	6.35
	Río Chacalapa 4	15.1667	1.9333	3.939	7.01
Quebrada Oscura	Quebrada Oscura 1	16.2222	8.3083	10.522	11.68
Río Los Espinos	Río Los Espinos 1	15.2778	1.8056	4.378	7.15
	Río Los Espinos 2	14.2417	2.9028	3.889	7.01
	Río Los Espinos 3	12.3722	1.6306	1.983	5.33
Río Olopita	Río Olopita 1	0.6222	1.5417	2.656	1.61
	Río Olopita 2	7.4778	1.6333	2.128	3.75
LMA no esta establecido en la norma				LMP 0.25 mg/l	
Fosfatos: representan la forma simple de encontrar el fosforo en un cuerpo de agua, la manera más habitual por la que hacen presencia en el agua es debido al uso de detergentes en los hogares. Éste parametro fue analizado en los tres monitoreos realizados a los puntos de control de la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas. Los datos presentados se obtuvieron en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente CUNORI.					

8.3.12 Coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*

Una forma de conocer la calidad de agua es atreves de determinar la presencia de bacterias que indican el grado de contaminación del agua y si esta puede ser utilizada para consumo humano o doméstico.

Los coliformes totales que se encuentran en el suelo y las bacterias coniformes fecales son bacterias que provienes de animales de sangre caliente como los seres humanos y los animales domésticos.

EL cuadro 23, muestra que los seis ríos (río Tepoctun, río Santiago, río Chacalapa, quebrada Oscura, río Los Espino y río Olopita) tiene alta concentraciones de bacterias coliformes totales, fecales y E. Coli, en todos de los puntos de control establecidos, donde los niveles para coliformes totales son mayores a 2400 NMP/100 ml, para coliformes fecales de 1625 a mayor de 2400 NMP/100 ml y E. coli de 1680 a mayor 2400 NMP/100 ml.

Los resultados indican que existe contaminación por la descarga de aguas residuales especialmente aguas negras las cuales tienen una alta presencia de bacterias por contienen heces fecales; esto provoca que el agua no sea apta para consumo humano o para el uso de actividades domésticas, este es uno de los principales parámetros que afectan la calidad del agua. Y los resultados se pueden asociar a otros estudios que indican que la mayoría de las fuentes superficiales de agua están contaminadas por bacterias coliformes.

Cuadro 23. Valores coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*, analizados en la red hidrológica superficial de Esquipulas.

Rio/Quebada	Punto de control	Valores promedios NMP/100		
		Coliformes totales	Coliformes fecales	<i>Escherichia Coli</i>
Río Tepoctún	Río Tepoctún 1	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
	Río Tepoctún 2	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
	Río Tepoctún 3	≥ 2400	≥ 2400	1680
	Río Tepoctún 4	≥ 2400	≥ 2400	1967
Rio Santiago	Río Santiago 1	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
	Río Santiago 2	≥ 2400	1625	≥ 2400
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
	Río Chacalapa 2	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
	Río Chacalapa 3	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
	Río Chacalapa 4	≥ 2400	≥ 2400	1604
Quebrada Oscura	Quebrada Oscura 1	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
Los Espinos	Río Los Espinos 1	≥ 2400	≥ 2400	1753
	Río Los Espinos 2	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
	Río Los Espinos 3	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
Rio Olopita	Río Olopita 1	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
	Río Olopita 2	≥ 2400	1631	≥ 2400

8.4 Índice de Calidad del Agua –ICA- de la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.

El Índice de Calidad del Agua –ICA- se determinó utilizando los valores de nueve parámetros: coliformes fecales, pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno, nitratos, fosfatos, temperatura, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto en porcentaje de saturación; obtenidos en cada uno de los tres monitoreos; el Índice de Calidad de Agua se estimó en cada monitoreo, para luego obtener un promedio de los tres realizados en cada punto de control de los río Tepoctún, Santiago, Chacalapa, quebrada Oscura, Los Espinos y Olopita en la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas; en el cuadro 24 se presenta el –ICA- de cada punto de control, así como el valor promedio.

Cuadro 24. Índice de Calidad del Agua en los puntos de control establecidos en la red hidrológica superficial de Esquipulas.

Río/Quebrada	Punto de control	Índice de Calidad del Agua -ICA-			
		Primer monitoreo (Abr-2017)	Segundo monitoreo (Jul-2017)	Tercer monitoreo (Sep-2017)	Promedio
Río Tepoctún	Río Tepoctún 1	55.59	57.90	61.84	58.44
	Río Tepoctún 2	38.52	56.14	58.10	50.92
	Río Tepoctún 3	24.20	54.66	57.23	45.36
	Río Tepoctún 4	24.12	52.56	56.44	44.37
Rio Santiago	Río Santiago 1	53.43	56.05	59.86	56.45
	Río Santiago 2	39.48	52.83	65.37	52.56
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	58.93	58.33	59.95	59.07
	Río Chacalapa 2	44.32	57.49	61.09	54.30
	Río Chacalapa 3	31.65	56.06	54.13	47.28
	Río Chacalapa 4	23.73	56.08	54.95	44.92
Quebrada Oscura	Quebrada Oscura 1	30.16	38.09	42.97	37.07
Los Espinos	Río Los Espinos 1	36.64	54.94	53.13	48.24
	Río Los Espinos 2	37.43	56.18	53.60	49.07
	Río Los Espinos 3	53.62	53.48	56.85	54.65
Rio Olopita	Río Olopita 1	55.21	58.77	52.65	55.54
	Río Olopita 2	56.56	58.58	57.06	57.40

La quebrada Oscura 1, presenta el menor Índice de Calidad del Agua -ICA- (37.07), después de atravesar parte de la ciudad de Esquipulas, en su trayecto recibe descargas de aguas residuales. Otros ríos que presenta un menor Índice de Calidad del Agua es el río Tepoctún (44.37) y el río Chacalapa (44.92) en el punto de control 4, debido a las múltiples descargas de aguas residuales de origen domiciliar durante su trayecto por la ciudad.

En el río Los Espinos, el menor Índice de Calidad del Agua -ICA- lo presentó en el punto de control río Los Espinos1, debido a que en este tramo del río desembocan el río Tepoctun, Santiago y Chacalapa, sin embargo en el punto de control río Los Espinos 2 y 3, el Índice de Calidad del Agua -ICA- sufre un ligero cambio positivo y mejora la calidad del agua debido al incremento de los niveles de oxígeno del agua por la turbulencia y se

reduce la Demanda Biológica de Oxígeno DBO₅ del punto de control río Los Espinos 1 al 3, por la dinámica del río y desembocan otros ríos y pequeñas quebradas que contribuyen a mejorar la calidad del agua.

Para el caso del río Olopita, el Índice de Calidad del Agua –ICA- sufre un ligero cambio positivo incrementando el –ICA- de 55.54 a 57.40, pero no sufre un cambio significativo en la calidad de agua.

8.4.1 Calidad del agua de la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas

Luego de obtener los resultados del Índice de Calidad del Agua -ICA- en cada punto de control en los ríos Tepoctún, Santiago, Chacalapa, quebrada Oscura, Los Espinos y Olopita, se determinó la calidad del agua con base a la propuesta de Brown (1970) donde la calidad del agua se divide en 5 escalas: excelente, buena, regular, mala y pésima. El cuadro 25 muestra la calidad del agua para cada punto de control de los ríos estudiados.

Cuadro 25. Valores por monitoreo y promedios de la clasificación de la calidad del agua propuesta por Brown, citado por SNET 1998?

Río/Quebrada	Punto de control	Índice de Calidad del Agua -ICA-			
		Primer monitoreo (Abr-2017)	Segundo monitoreo (Jul-2017)	Tercer monitoreo (Sep-2017)	Promedio
Río Tepoctún	Río Tepoctún 1	55.59	57.90	61.84	58.44
	Río Tepoctún 2	38.52	56.14	58.10	50.92
	Río Tepoctún 3	24.20	54.66	57.23	45.36
	Río Tepoctún 4	24.12	52.56	56.44	44.37
Río Santiago	Río Santiago 1	53.43	56.05	59.86	56.45
	Río Santiago 2	39.48	52.83	65.37	52.56
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	58.93	58.33	59.95	59.07
	Río Chacalapa 2	44.32	57.49	61.09	54.30
	Río Chacalapa 3	31.65	56.06	54.13	47.28
	Río Chacalapa 4	23.73	56.08	54.95	44.92
Quebrada Oscura	Quebrada Oscura 1	30.16	38.09	42.97	37.07
Los Espinos	Río Los Espinos 1	36.64	54.94	53.13	48.24
	Río Los Espinos 2	37.43	56.18	53.60	49.07
	Río Los Espinos 3	53.62	53.48	56.85	54.65
Río Olopita	Río Olopita 1	55.21	58.77	52.65	55.54
	Río Olopita 2	56.56	58.58	57.06	57.40

El río Tepoctún en el primer monitoreo la calidad del agua en el punto de control río Tepoctún 1 es “Regular” dicha calidad en el punto de control río Tepoctún 4 se reduce a “Pésima”, en segundo y tercer monitoreo la calidad del agua no sufre ningún cambio; en el promedio la calidad del agua en el primer punto de control es “Regular” y en el punto de control 4 se reduce a “Mala”.

El río Santiago en el primer monitoreo la calidad del agua en el punto de control río Santiago 1 es “Regular” y en el punto de control río Santiago 2, cambia a “Mala”, en el segundo y tercer monitoreo, así como en promedio la calidad del agua no sufre cambios y su calidad es regular.

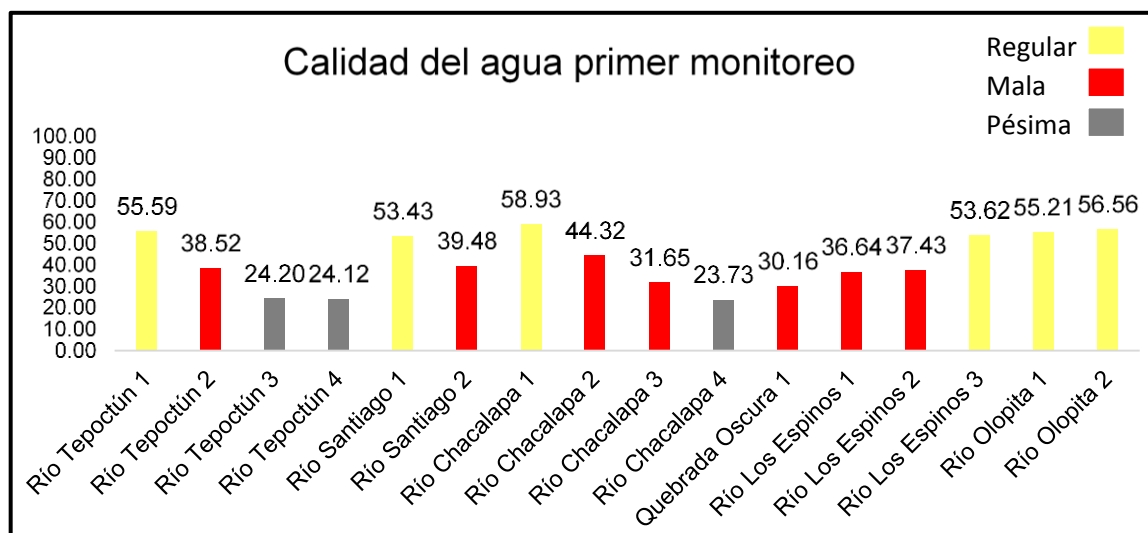
El río Chacalapa en el primer monitoreo la calidad del agua en el punto de control río Chacalapa 1 es “Regular” la calidad se reduce a “Pésima” en el punto de control río Chacalapa 4, en el segundo y tercer monitoreo la calidad del agua no sufre cambios; en el promedio la calidad del agua en el punto de control 1 es “Regular” y en el punto de control 4 se reduce a “Mala”.

La quebrada Oscura en su único punto de control la calidad del agua es “Mala” para el primer monitoreo, en el segundo y tercer monitoreo, así como en el promedio.

El río Los Espinos en el primer monitoreo, la calidad del agua en el punto de control río Los Espinos 1, es “Mala”, en el punto de control río Los Espinos 3 la calidad del agua mejora a “Regular”, en el segundo y tercer monitoreo la calidad del agua es “Regular”; el promedio de la calidad en el punto de control 1 es “Mala”, y en el punto de control 3 la calidad del agua es “Regular”, sufriendo un cambio positivo debido a la resiliencia y a la dinámica del río, como a la desembocadura de otros ríos que contribuyen a mejorar la calidad.

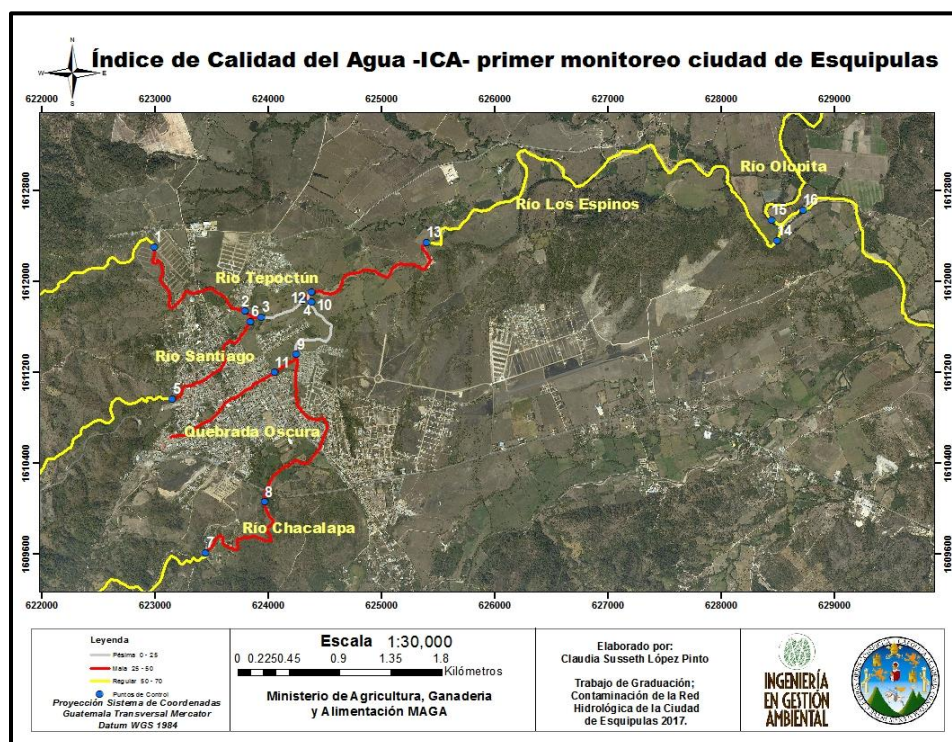
El río Olopita la calidad del agua es “Regular” y no sufre ningún cambio de acuerdo al Índice de Calidad del Agua.

Gráfica 1. Calidad del agua red hidrológica superficial ciudad de Esquipulas primer monitoreo



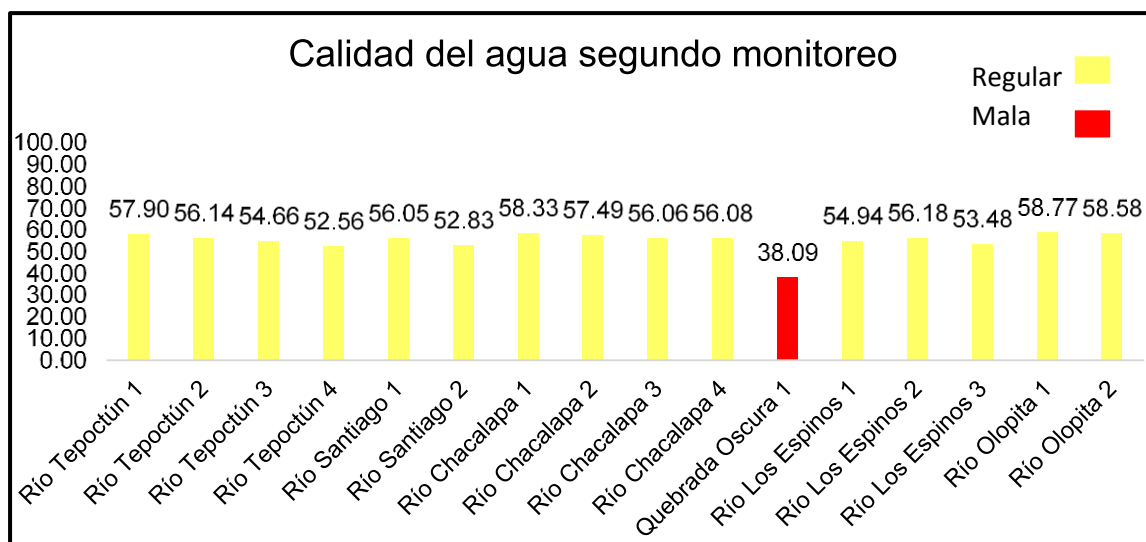
La gráfica 1, muestra el índice y la calidad del agua para cada punto de control establecido en los seis ríos, donde se puede observar el cambio que sufre el índice y la calidad en los puntos de control establecidos para cada río. Dichos cambios se deben a la descarga de aguas residuales a la red hidrológica superficial que atraviesa el casco urbano.

Figura 14. Representación del índice de calidad del agua primer monitoreo.



La figura 14, muestra la calidad del agua en el primer monitoreo (mes de abril, 2017) donde se observa variación y comportamiento de los diferentes puntos de control

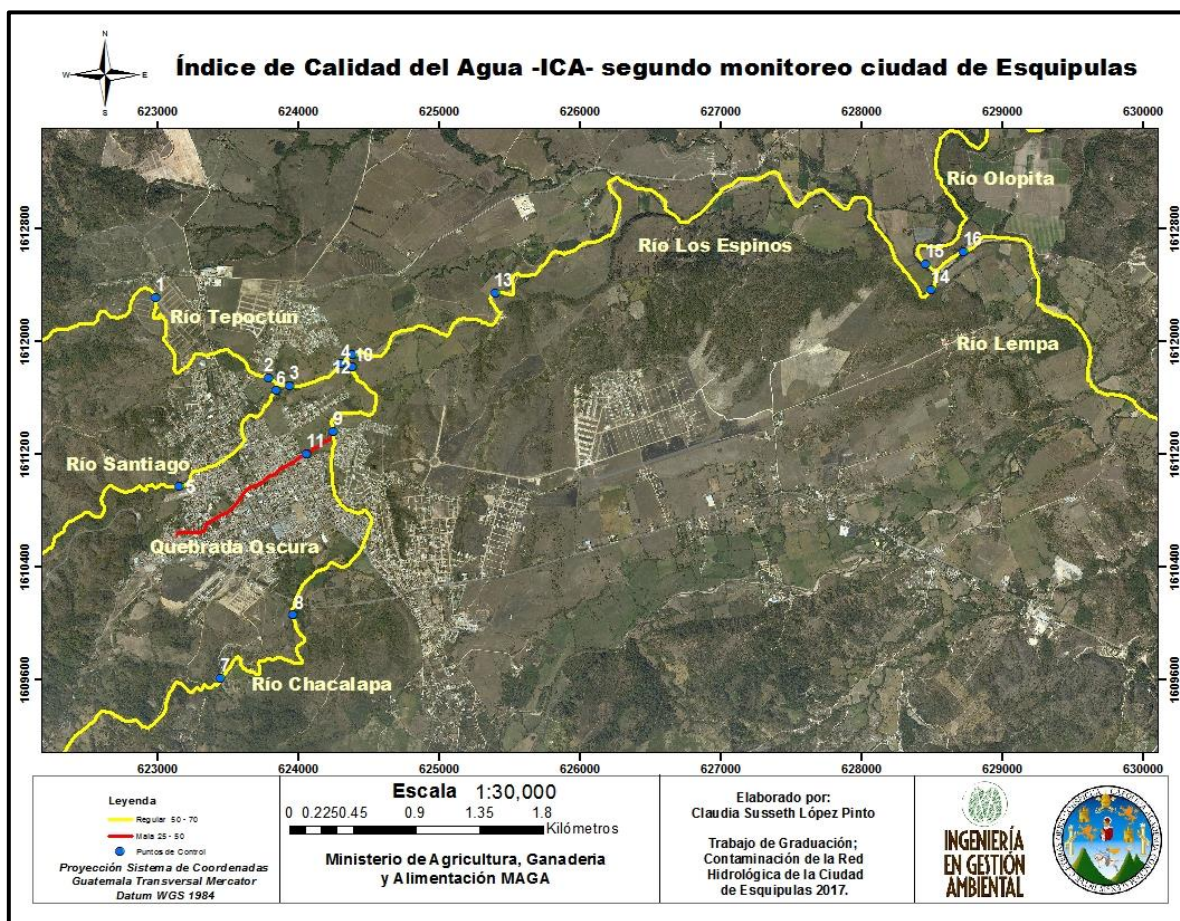
Gráfica 2. Calidad del agua red hidrológica superficial ciudad de Esquipulas segundo monitoreo



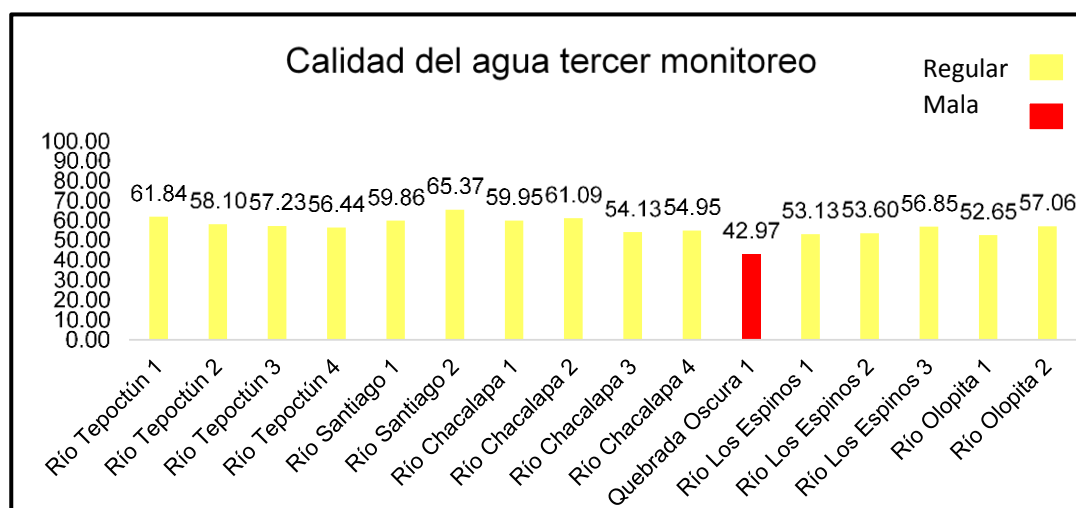
La gráfica 2, muestra que la mayoría de puntos de control presentan calidad del agua “Regular”, debido a la presencia de las lluvias las descargas de aguas residuales de origen domiciliar se diluyen, razón por la que los parámetros analizados a cada punto de control mejoran la calidad del agua, el único punto de control quebrada Oscura 1, muestra una calidad del agua mala “Mala”, este punto recibe durante las 24 horas las descargas de aguas residuales del centro de la ciudad.

En la figura 15, se muestran los resultados de la calidad del agua para el segundo monitoreo se observa que es únicamente el punto de control quebrada oscura 1, con un valor de 38.09, según la clasificación propuesta por Brown el tipo de agua es de “Mala” calidad, esto se debe a la descarga constante de aguas residuales provenientes del centro de la ciudad, y son trasladadas por la quebrada Oscura uniéndose al río Chacalapa o Los Milagros como también es conocido.

Figura 15. Representación del índice de calidad del agua segundo monitoreo.

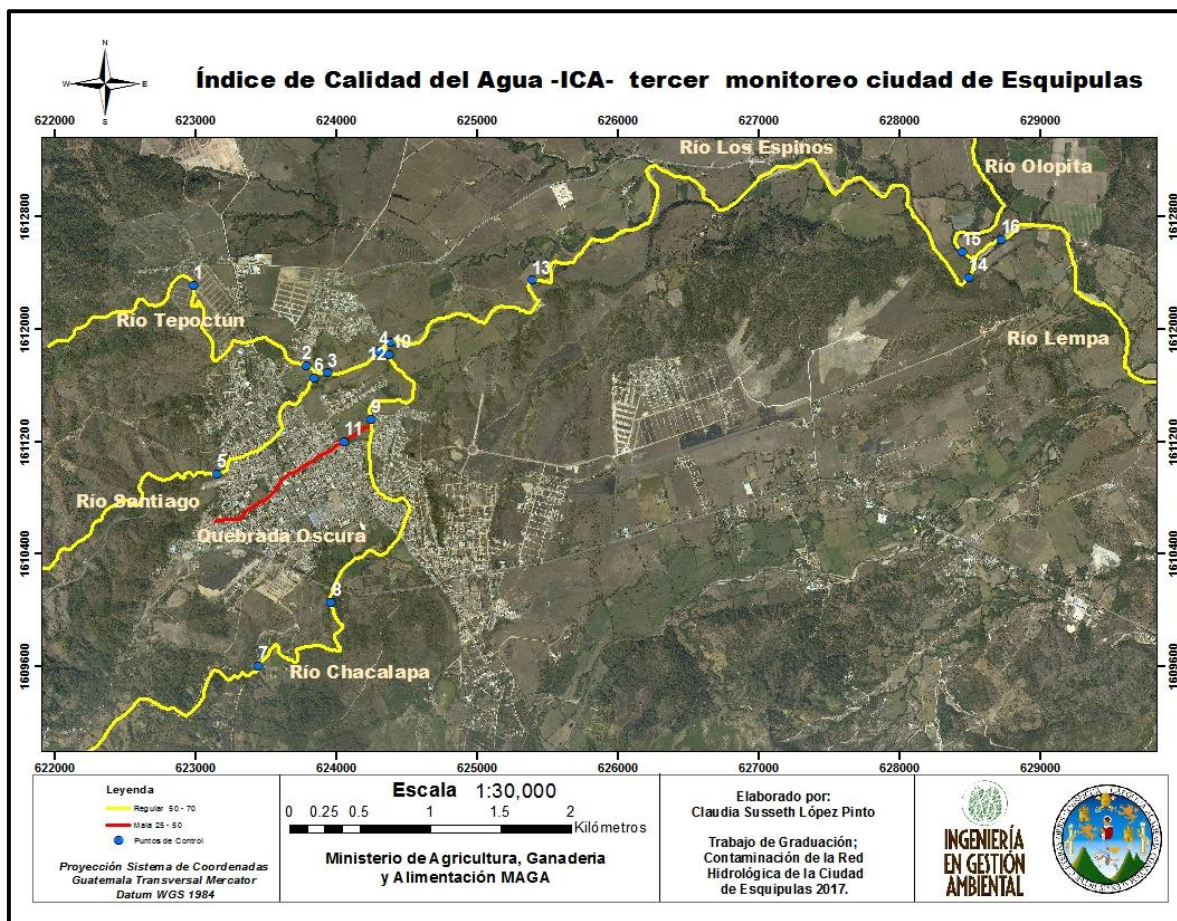


Gráfica 3. Calidad del agua de la red hidrológica superficial ciudad de Esquipulas tercer monitoreo.



La gráfica 3, muestra los resultados del tercer monitoreo, donde el comportamiento es similar al anterior, la mayoría de los puntos de control representan una calidad “Regular”, el punto de control quebrada Oscura 1, presenta calidad del agua “Mala”; comparado con el monitoreo anterior este mismo punto de control el -ICA- incrementa a 4.88 debido a las intensas lluvias en el mes de septiembre, sin embargo la calidad del agua no mejora por las descargas de agua residuales.

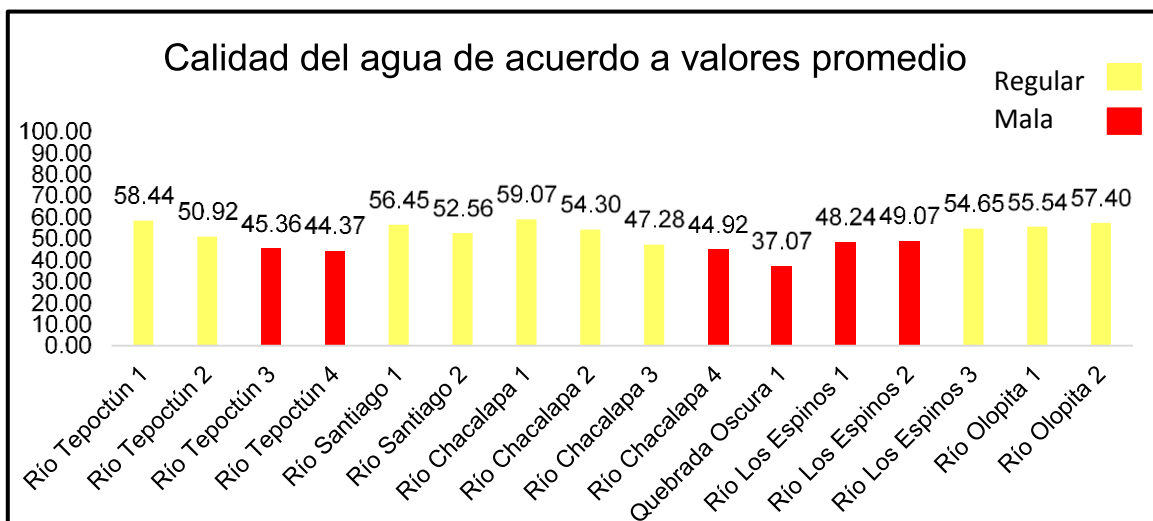
Figura 16. Representación del índice de calidad del agua tercer monitoreo



Las aguas con “ICA” de categoría “Regular” tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y frecuentemente manifiestan un crecimiento anormal de algas. Las aguas con “ICA” de categoría “mala” pueden soportar una baja diversidad de vida acuática y probablemente experimenten problemas de contaminación.

Las aguas con “ICA” de categoría “Pésima” pueden soportar un número limitado de organismos acuáticos, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que impliquen el contacto directo.

Gráfica 4. Calidad del agua de acuerdo a valores promedio de -ICA- en la red hidrológica superficial ciudad de Esquipulas.



La gráfica 4 muestra el promedio la de calidad del agua de los tres monitoreos realizados a la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas durante el 2017.

La figura 17, presenta el promedio del Índice de Calidad del Agua en los 16 puntos de control en la red hidrológica superficial de Esquipulas, donde se observa la diferencia de calidad de “Regular” a “Mala”.

Figura 17. Representación del Índice de Calidad del Agua en base a valores promedio del -ICA-, en los tres monitoreos realizados a la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas.



8.5 Estimación del Índice de Calidad del Agua para diferentes usos

Con el valor promedio del Índice de Calidad del Agua -ICA- se determinó la calidad del agua según los criterios generales de uso propuesto por el panel de expertos Dinius (1987), que define seis rangos del estado de calidad del agua: Excelente, Aceptable, Levemente Contaminada, Contaminada, Fuertemente Contaminada y Excesivamente Contaminada y se establecieron cinco criterios generales de uso: Agua Potable, Agricultura, Pesca y Vida Acuática, Industrial y Recreativo. De acuerdo a esta clasificación de rangos y criterios generales se presenta la calidad del agua en los diferentes puntos de control de la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas (cuadro 26).

Cuadro 26. Criterios de uso de la calidad de los 16 puntos de control de la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas.

Usos de la calidad del agua							
Río/Quebrada	Punto de control	Índice de Calidad del Agua	Agua Potable	Agricultura	Pesca y Vida Acuática	Industria	Recreación
Río Tepoctún	Río Tepoctún 1	58.44	Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Aceptable
	Río Tepoctún 2	50.92	Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Aceptable
	Río Tepoctún 3	45.36	Fuertemente Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Levemente Contaminada
	Río Tepoctún 4	44.37	Fuertemente Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Levemente Contaminada
Río Santiago	Río Santiago 1	56.45	Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Aceptable
	Río Santiago 2	52.56	Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Aceptable
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	59.07	Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Aceptable
	Río Chacalapa 2	54.30	Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Aceptable
	Río Chacalapa 3	47.28	Fuertemente Contaminada	Levemente Contaminada	Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada
	Río Chacalapa 4	44.92	Fuertemente Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Levemente Contaminada
Quebrada Oscura	Quebrada Oscura 1	37.07	Excesivamente Contaminada	Contaminada	Fuertemente Contaminada	Contaminada	Contaminada
Río Los Espinos	Río Los Espinos 1	48.24	Fuertemente Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Levemente Contaminada
	Río Los Espinos 2	49.07	Fuertemente Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Levemente Contaminada
	Río Los Espinos 3	52.05	Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Aceptable
Río Olopita	Río Olopita 1	54.40	Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Aceptable
	Río Olopita 2	56.20	Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Aceptable

Escala de calidad del agua para diferentes usos						
Calidad del agua	Excelente	Aceptable	Levemente Contaminada	Contaminada	Fuertemente Contaminada	Excesivamente Contaminada

a) Río Tepoctún

De acuerdo a los resultados del Índice de Calidad de Agua -ICA- y según la escala de los criterios generales de uso (cuadro 26), el punto de control 1 y 2 la calidad del agua de acuerdo a la escala general de uso es la siguiente: Contaminada para uso potable por lo que necesita tratamiento de potabilización si desea consumirse, Levemente Contaminada para usos agrícolas, pesca y vida acuática e Industrial y Aceptable para usos recreativos. En el punto de control 3 y 4, la calidad del agua disminuye notablemente debido a la contaminación por descarga de aguas residuales y la calidad para diferentes usos es la siguiente: Fuertemente Contaminada para uso potable, su procedencia es dudosa para

consumirse; Contaminada para uso agrícola, pesca y vida acuática e industrias, recomendado el tratamiento en la mayoría de los procesos, y Levemente Contaminada en usos recreativos.

b) Río Santiago

Los resultados muestran que la calidad del agua de acuerdo a la escala general de uso en los dos puntos de control establecidos es la siguiente: Contaminada para uso potable, Levemente Contaminada para uso agrícola, pesca y vida acuática e industrial, y Aceptable para actividades recreativas.

c) Río Chacalapa

Sobre este río se establecieron 4 puntos de control, de acuerdo a los resultados del Índice de Calidad de Agua -ICA- y según la escala de los criterios generales de uso (cuadro 26), el punto de control 1 y 2 la calidad del agua de acuerdo a la escala general de uso es la siguiente: Contaminada para uso de agua potable, Levemente Contaminada para usos en agricultura, pesca e industria y Aceptable para uso recreativo. El punto de control 3 presenta una disminución en su calidad, para uso potable el agua se encuentra Fuertemente Contaminada, para pesca y vida acuática está Contaminada y Levemente Contaminada para usos recreativos. El punto de control 4, de acuerdo a la escala general de uso es la siguiente: Fuertemente Contaminada para agua potable, Contaminada para usos agrícolas, pesca y vida acuática e Industria y Levemente Contaminada para usos recreativos.

d) Quebrada Oscura

En la quebrada Oscura únicamente se estableció un punto de control, de acuerdo al Índice de Calidad de Agua, y según la escala de los criterios generales de uso (cuadro 26) los usos son los siguientes: Excesivamente Contaminada para uso potable, su consumo es inaceptable; Contaminada para uso agrícola, industrial y recreación, Fuertemente Contaminada para pesca y vida acuática.

e) Río Los Espinos

Río que conduce la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas, en base a los resultados del Índice de Calidad de Agua -ICA- y según la escala de los criterios generales de uso (cuadro 26), el punto de control 1 y 2 la calidad del agua de acuerdo a la escala general de uso es la siguiente: Fuertemente Contaminada para uso de agua potable, Contaminada para uso, agrícola, pesca y vida acuática e industria, y Levemente Contaminada para uso recreativo. La calidad del punto de control 3 mejora notablemente, la escala general de uso es la siguiente: Contaminada para uso de agua potable, Levemente Contaminada para agricultura, pesca y vida acuática e Industria, y Aceptable para usos recreativos.

f) Río Olopita

En este se establecieron dos puntos de control, de acuerdo a los resultados del Índice de Calidad de Agua -ICA- y según la escala de los criterios generales de uso (cuadro 26), el punto de control 1 y 2 la calidad del agua de acuerdo a la escala general de uso es la siguiente: Contaminada para uso de agua potable, Levemente Contaminada para uso agrícola, pesca y vida acuática e industria y Aceptable para usos recreativos.

8.6 Contaminación de la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas

La red hidrológica de la ciudad de Esquipulas es afectada por las descargas de aguas servidas del casco urbano. Para determinar la contaminación se utilizaron los resultados obtenidos del Índice de Calidad del Agua -ICA- en cada punto de control, estableciendo la diferencia del -ICA- entre el primer y último punto de control en cada uno de los ríos bajo estudio.

Cuadro 27. Diferencia de contaminación de la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.

Diferencial de contaminación en la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.			
Nombre río/quebada	Punto de control	Promedio ICA	Diferencial de contaminación
Río Tepoctún	Río Tepoctún 1	58.44	14.07
	Río Tepoctún 4	44.37	
Rio Santiago	Río Santiago 1	56.45	3.89
	Río Santiago 2	52.56	
Río Chacalapa	Río Chacalapa 1	59.07	14.15
	Río Chacalapa 4	44.92	
Los Espinos	Río Los Espinos 1	48.24	-6.41
	Río Los Espinos 3	54.65	
Rio Olopita	Río Olopita 1	55.40	-2
	Río Olopita 2	57.40	

En el cuadro 27, se puede observar que el río Tepoctún disminuye 14.07 unidades el Índice de Calidad del Agua entre el primero y el último punto de control, esta reducción se debe principalmente a la presencia de fosfatos y coliformes fecales, al incremento de la demanda biológica de oxígeno, la turbidez, temperatura y a la reducción del oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación de oxígeno.

El río Santiago muestra una reducción en el Índice de Calidad de Agua de 3.89 unidades entre el primer y último punto de control lo que indica que en este río la influencia de la contaminación por aguas residuales es menor y provoca un ligero cambio en la calidad del agua sin embargo no se puede concluir que el río tiene una agua de calidad porque al ingresar a la ciudad este ya presenta un Índice de Calidad con un valor de 56.45.

El río los Espinos corresponde a un tramo de la red hidrológica que se encuentra entre la ciudad de Esquipulas y el cauce del río Olopita a éste río se unen el río Tepoctún,

Santiago, Chacalapa y la quebrada Oscura, en este río el Índice de Calidad del Agua muestra un incremento entre el primer punto y el último punto de control dando como resultado un valor negativo de -6.41 unidades, esto indica que en éste río la contaminación se reduce producto de la resiliencia del río y la dinámica de su cauce así como del aporte de agua que hacen otros ríos como el San Juan y Nejapa que proveen agua de mejor calidad y por lo tanto el estudio muestra un cambio positivo en la calidad del agua. Esto demuestra que los ríos al no recibir influencia de contaminación en determinados espacios es posible que la calidad del agua mejore y permita su uso.

El río Olopita corresponde a la cuenca alta del río Lempa que se origina en el municipio de Olopa y su cauce pasa por el municipio de Esquipulas donde desemboca el río Los Espinos, es importante aclarar que éste río no atraviesa directamente la ciudad de Esquipulas, pero si recibe influencia de la contaminación de esta. Los resultados de la investigación muestran que el índice de Calidad de Agua entre el primer y segundo punto de control establecidos sufre un leve incremento con un valor de 2 y la calidad del agua del río se ve poco afectada a este trayecto del río.

9. CONCLUSIONES

1. La red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas está conformada por los ríos Tepoctún, Santiago, Chacalapa, Los Espinos y la quebrada Oscura.
2. Se identificaron 13 puntos de descarga de agua residuales en la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas, de los cuales seis corresponden a descargas de tipo primario, cinco a descargas de tipo secundario y dos a descargas de tipo terciario.
3. En el río Chacalapa se identificaron el mayor número de descarga de aguas residuales debido a la distribución que tiene la red drenajes de la ciudad de Esquipulas por la topografía del suelo.
4. Los resultados muestran que parámetros como coliformes fecales, fosfatos, sólidos totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno y turbidez, presenta valores son superiores al límite máximo aceptable -LMA- y límite máximo permisible -LMP- según lo establece la norma COGUANOR y la OMS.
5. Los ríos que conforman la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas tienen agua contaminada por coliformes fecales, con valores superiores a 2400 NMP/100 ml de agua.
6. El Índice de Calidad de Agua disminuye en el cauce de los ríos Tepoctún, Santiago y Chacalapa debido a la descarga de aguas residuales sin tratamiento y a la disposición de desechos sólidos sobre la rivera y cauce de los ríos.
7. La quebrada Oscura es la que menor Índice de Calidad de Agua presentó esto indica que es la corriente superficial más contaminada la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.

8. El Índice de Calidad de Agua en los ríos Los Espinos y Olopita se comporta de forma variable porque este sufre un ligero incremento, indica que la calidad del agua tiende a sufrir un cambio positivo producto de factores como la resiliencia, la turbulencia del agua en el cauce del río, así como el aporte de agua de mejor calidad que le hacen otros ríos y quebradas.
9. De acuerdo a los criterios generales de uso la calidad del agua de la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas, varía de Levemente Contaminada a Extremadamente Contaminada para los usos agua potable, agricultura, pesca y vida acuática e Industria.
10. La contaminación del agua superficial es mayor en los ríos Tepoctún y Chacalapa debido a que estos tienen mayor número de descargas de aguas residuales.

10. RECOMENDACIONES

1. Evitar emisiones de aguas residuales sobre el cauce de los ríos que conforman la red hidrológica superficial de la ciudad de Esquipulas.
2. Fortalecer la normativa municipal dirigida a evitar la contaminación del agua en las corrientes superficiales y subterráneas en el municipio de Esquipulas.
3. Promover proyectos de inversión pública para el tratamiento y aprovechamiento de las aguas residuales con el objetivo de reducir la contaminación y mejorar la calidad del agua en la red hidrológica de la ciudad.
4. Establecer programas permanentes de monitoreos de la calidad del agua en la red hidrológica superficial de Esquipulas, para realizar análisis de variabilidad espacial y temporal de calidad del agua.
5. Promover proyectos dirigidos a aprovechar el potencial de uso que tienen las aguas residuales para la producción agropecuaria, por su alto contenido de nutrientes y considerando que el municipio de Esquipulas es una zona de producción agrícola y pecuaria.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA (American Public Health Association, US); AWWA (American Water Works Association, US). 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18 ed. Washington, US, APHA. 193 p.
- AWWA (American Water Water Works Association). 2002. Calidad y tratamiento del agua: manual de suministros de agua comunitaria. Madrid, Es, McGraw-Hill. p. 65-85, 117.
- Barrios Napurí, C; Torres Ruíz, R; Lampoglia, TC; Agüero Pittman, R. 2009. Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades: fuentes de agua y métodos de aforo (en línea, sitio web). Lima, Perú, CEPIS-OPS/OMS. Consultado 14 abr. 2017. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/0gral/0contenido.htm>
- Boy Piedrasanta, JA. 1989. Determinación de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos para evaluar la calidad del agua para consumo humano y uso industrial en la ciudad de Amatitlán. Tesis Lic. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. 136 p.
- COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas). 1985. Agua potable. NGO 29 001:99 (en línea). Guatemala. Consultado 15 mar. 2017. Disponible en http://www.ada2.org/sala-prensa/publicaciones/doc_view/28-coguanor-29001-99
- CTPT (Comisión Trinacional del Plan Trifinio, Guatemala). 2009. TRIFINIO: los recursos hídricos en la parte alta de la cuenca del río Lempa (en línea). Buch, MS; Jiménez, J (eds). Esquipulas, Chiquimula, Guatemala, Comisión Trinacional del Plan Trifinio. 108 p. Consultado 19 mar. 2017. Disponible en <https://es.scribd.com/doc/34610381/5-El-Trifinio-Estado-de-Recursos-Hidricos>

Enciclopedia libre universal en español. 2012. Red hidrológica (en línea, sitio web). Consultado 3 abr. 2017. Disponible en http://enciclopedia.us.es/index.php/Red_hidrogr%C3%A1fica

FACSA (Ciclo Integral del Agua). 2017. Los nitratos (en línea, sitio web). Castellón, Valencia, España. Consultado 26 mar 2017. Disponible en <https://www.facsa.com/los-nitratos/>

García Álvarez, RJ. 2010. Contaminación que provocan las aguas servidas sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula (en línea). Tesis M.Sc. Guatemala, USAC. 87 p. Consultado 22 nov. 2017. Disponible en <http://postgrado.fausac.gt/wp-content/uploads/2016/09/Jos%C3%A9-Ramiro-Garc%C3%ADa-%C3%81lvarez.pdf>

Gómez Aguilar, CM. 2016. Determinación de la contaminación provocado por los subproductos del café (aguas mieles y pulpa) en la red hidrológica superficial de la microcuenca del río Atulapa, municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula, 2014 (en línea). Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC-CUNORI 126 p. Consultado 15 abr. 2017. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/Determinacion_de_la_contaminacion_provocada_por_los_subproductos_del_cafe_en_la_red_hidrologica_superficial_de_la_microcuenca_del_rio_atulapa_municipio_de_esquipulas_departamento_de_chiquimula_2014.pdf

Gonzáles Toro, C. 2011. Monitoreo de la calidad del agua. :la turbidez (en línea). Puerto Rico, Universidad de Mayaguez / Word Water Monitoring Day. 11 p. Consultado 21 abr. 2017. Disponible en <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>

Goyenola, G. 2007. Guía para la utilización de las valijas viajeras: oxígeno disuelto (en línea). Uruguay, RED MAPSA. 3 p. Consultado 25 mar. 2017. Disponible en http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf

Guevara Paz, MR. 2015. Calidad del agua superficial y propuesta de manejo en la microcuenca del río Atulapa, del área protegida Trinacional Montecristo, ubicada en el municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula (en línea). Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC-CUNORI. 134 p. Consultado 12 abr. 2017. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/Calidad_del_agua_superficial_y_propuesta_de_manejo_en_la_microcuenca_del_rio_atulapa_del_area_protegida_trinacional_Montecristo_ubicada_en_el_municipio_de_Esquipulas_departamento_de_Chiquimula_2014.pdf

IARNA (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente); URL (Universidad Rafael Landívar); IIA (Asociación Instituto de Incidencia Ambiental). 2006. Perfil ambiental de Guatemala 2006: tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental. (en línea). Guatemala. p. 16 – 17. Consultado 10 abr. 2017. Disponible en <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.ashx?Id=41022>

Julk Vera, R. s.f. Conductividad eléctrica (en línea). SCRIBD. 24 diapositivas. Consultado 5 abr. 2017. Disponible en <https://es.scribd.com/document/145192382/CONDUCTIVIDAD-ELECTRICAdddddddddd-docx>

Lenntech. 1998-2018. pH y alcalinidad (en línea, sitio web). España. Consultado 18 mar.2017. Disponible en <https://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.htm>

López Hernández, E; Martínez Nova, JG; García Santiago, JL. 2014. Determinación de sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos suspendidos volátiles (SSV) (en línea, sitio web). Puerto Ángel, San Pedro Pochutla, Oaxaca, México. 9 p. Consultado 1 abr. 2017. Disponible en https://edoc.tips/download/determinaciondesolidossuspendidostot-1pdf_pdf

Municipalidad de Esquipulas 2013. Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial Municipal (PODTM) junio del 2013 (documento electrónico). Esquipulas, Chiquimula, Guatemala. 184 p.

Municipalidad de Esquipulas. 2012. Diagnóstico ambiental municipal Esquipulas año 2012 (documento electrónico). Esquipulas, Chiquimula, Guatemala. 44 p.

Municipalidad de Esquipulas. 2017. Estudio técnico de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos de la municipalidad de Esquipulas, departamento de Chiquimula (documento electrónico). Esquipulas, Chiquimula Guatemala. 50 p.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2017. Salubridad y calidad del agua (en línea, sitio web). Ginebra, Suiza. Consultado 18 mar. 2017. Disponible en http://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/es/

ONU-DAES (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas). 2014. Calidad del agua (en línea, sitio web). Nueva York. Consultado 21 mar. 2017. Disponible en <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

Pérez Porto, J; Merino, M. 2014. Definición de sulfato (en línea, sitio web) Definiciones.DE. Consultado 12 abr. 2017. Disponible en <https://definicion.de/sulfato/>

Rodríguez Guerra, C; Lozano, S. s.f. UF0014: Siembra y transplante de cultivos hortícolas y flor cortada: Adaptabilidad a las curvas de nivel del terreno (en línea). Espoña, Books. Consultado 4 abr. 2017. Disponible en https://books.google.com.gt/books?id=UI5WDwAAQBAJ&pg=PA63&lpg=PA63&dq=.+En+geomorfolog%C3%ADa,+la+red+de+drenaje+se+refiere+a+la+red+natural+d e+transporte+gravitacional+de+agua,+sedimento+o+contaminantes,+formada+por+r%C3%ADos,+lagos+y+flujos+subterr%C3%A1neos&source=bl&ots=aq5-mwJ78H&sig=-L1KvXywuCROTxMZA9Bz73viWhY&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjz0tTfhMzcAhUSuVkkKHT_hB2AQ6AEwCXoECAIQAQ#v=onepage&q&f=false

Salazar Chichilla, WM. 2016. Determinación de la calidad del agua en la corriente superficial de la microcuenca del Río Grande ubicada en el municipio de Concepción Las Minas, departamento de Chiquimula, 2015 (en línea). Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC-CUNORI 134 p. Consultado 13 abr. 2017. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/Determinacion_de_la_calidad_del_agua_en_la_corriente_superficial_de_la_microcuenca_del_rio_grande_ubicada_en_el_municipio_de_Concepcion_las_Minas_departamento_de_chiquimula_2015.pdf

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador). 1998? Índice de calidad del agua general "ICA" (en línea). San Salvador, El Salvador, MARN. 14 p. Consultado 28 mar. 2017. Disponible en <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf>

Villeda Maderos, JR. 2003. Datos del municipio (en línea, sitio web). Esquipulas, Chiquimula, Guatemala, UTM Municipalidad de Esquipulas-Chiquimula. Consultado 28 mar.2017. Disponible en <http://guiacomercial.esquipulas.com.gt/datos-del-municipio/>

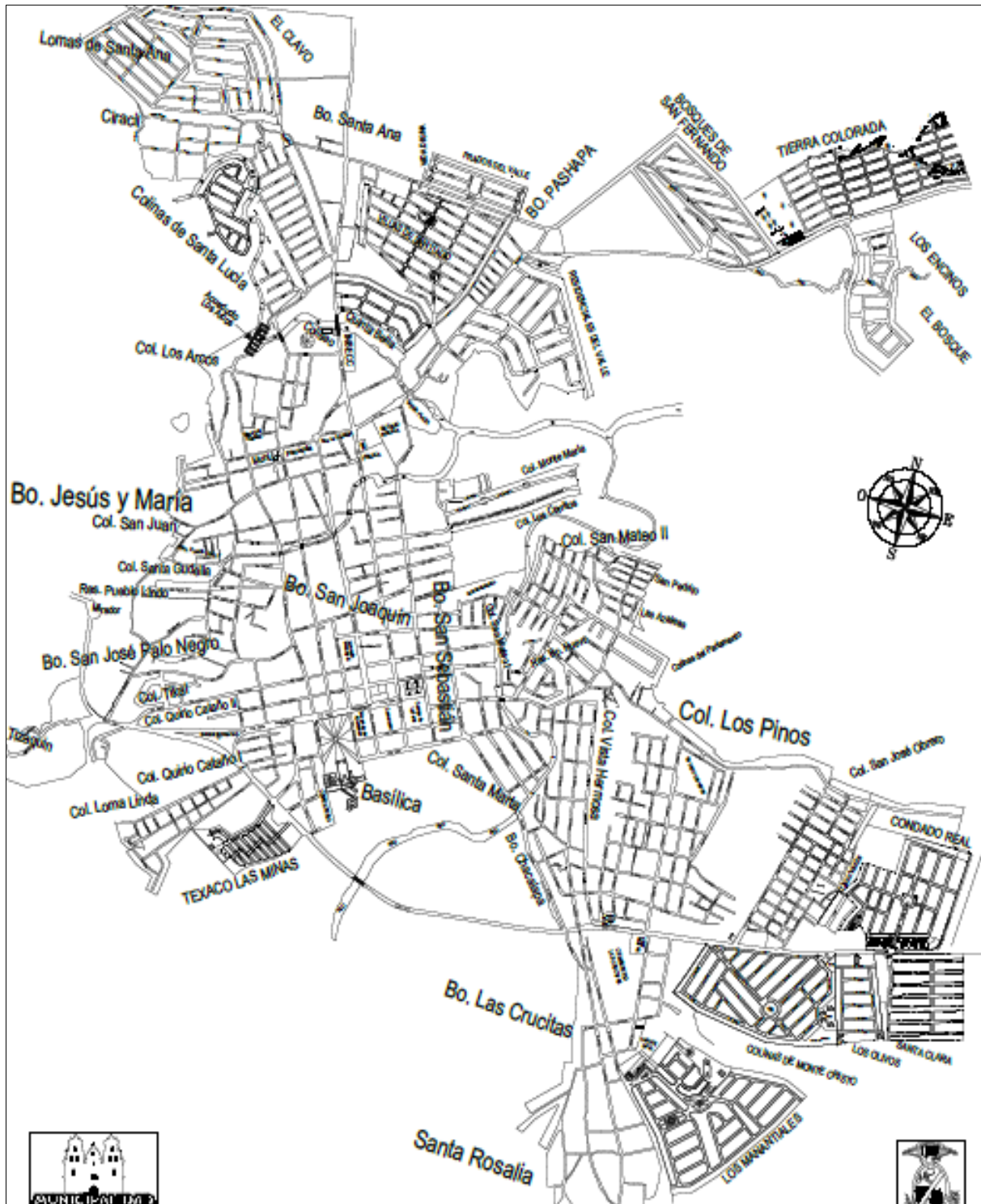


12. ANEXO

Anexo 1. Mapa del casco urbano de La Ciudad de Esquipulas



Anexo 2. Área urbana ciudad de Esquipulas.



Fuente: Municipalidad de Esquipulas 2017.

Anexo 3. Metodología para el análisis de los parámetros del Índice de Calidad del Agua –ICA-.

Potencial del hidrógeno pH

Procedimiento:

- Conectar la sonda de pH al multiparámetro HQ40
- Encender el multiparámetro presionando el botón de encendido/apagado.
- Retirar la tapa protectora del bulbo sensor del electrodo de pH.
- Lavar el bulbo sensor del electrodo de Ph, con agua destilada.
- Asegurarse que el bulbo quede con la menor cantidad posible de gotas de agua destilada.
- Introducir la sonda de pH en la corriente superficial.
- Cuando el potenciómetro se estabilice anotar el dato.
- Retirar la sonda de la muestra y lavar el bulbo sensor con agua destilada.
- Apagar el multiparámetro.

Conductividad eléctrica del agua

Procedimiento:

- Conectar la sonda de conductividad al dispositivo portátil multiparámetro HQ40.
- Encender el dispositivo portátil presionando el botón de encendido/apagado.
- Lavar la punta de la sonda de conductividad con agua destilada.
- Asegurarse que la punta de la sonda quede con la menor cantidad posible de gotas de agua destilada.
- Introducir la sonda de conductividad a la corriente superficial.
- Cuando el multiparámetro se estabilice anotar el dato.
- Retirar la sonda de la muestra y lavar el bulbo sensor con agua destilada.
- Apagar el dispositivo
- Desconectar la sonda de conductividad del dispositivo.

Oxígeno Disuelto

Procedimiento:

- Conectar la sonda al dispositivo multiparámetro HQ40.
- Encender el potenciómetro presionando el botón de encendido/apagado.
- Lavar la punta de la sonda de oxígeno con agua destilada.
- Asegurarse que la punta de la sonda quede con la menor cantidad posible de gotas de agua destilada.
- Introducir la sonda de oxígeno a la corriente superficial.
- Cuando el multiparámetro se estabilice anotar el dato.
- Retirar la sonda de la muestra y lavar el bulbo sensor con agua destilada.
- Apagar el dispositivo portátil.

Nitratos NO₃

- Se utilizará el método de salicilato de sodio; el rango de este método se encuentra entre 0 y 2 mg de nitrógeno de nitratos por litro. Muestras con mayores concentraciones requieren un volumen inicial menor.

Procedimiento:

- Preparar la solución de salicilato de sodio disolviendo 0.05 gr de salicilato en 10 ml de agua destilada.
- Agregar 25 ml de la muestra filtrada en sus respectivas capsulas agregando 1 ml de salicilato preparado anteriormente.
- Dejar las capsulas toda la noche de 70 °C a 90 °C hasta sequedad.
- Mientras la capsula de porcelana aún está caliente, disolver el residuo con 1 ml de ácido sulfúrico por todas las paredes de la porcelana.
- Lavar la porcelana con agua destilada y raspar las paredes con una varilla de vidrio misma que se utiliza para traspasar el agua al balón.
- Agregar 7 ml de solución NaOH-tartrato y completar 100 ml del balón con agua destilada.
- Agitar por inversión para mayor homogenización.
- Leer a 420 nm en el espectrofotómetro sin corrección de fondo.

Fosfatos PO4

- Para la determinación de fosfatos se tiende a preparar los siguientes reactivos:
 - A) 14.0 ml de ácido sulfúrico concentrado aforado con agua a 100 ml
 - B) 0.0274 g de tartrato de antimonil-potasio en 10 ml de agua destilada
 - C) 1.00 g de heptamolibdato de amonio en 25 ml de agua destilada
 - D) 0.88 g de ácido ascórbico en 50 ml de agua destilada

Procedimiento:

- Mezclar en el siguiente orden 80 ml de A, 8 ml de B, 24 ml de C y 48 ml de D.
- Agregar 2.0 ml de esta mezcla a 10 ml de muestra filtrada por duplicado.
- Agitar por inversión para mayor homogenización.
- Leer a 880 nm utilizando corrección de fondo 94

Determinación de la demanda biológica de oxígeno DBO5

Procedimiento:

- En una botella de DBO de 300ml colocar 10 ml de la muestra y 1 ml de las
- soluciones A, B, C, y D.
- Completar con agua destilada hasta el cuello de la botella y determinar el oxígeno disuelto con la sonda de oxímetro.
- Al sacar el detector completar con agua destilada hasta la mitad del cuello de la botella.
- Taparla de forma tal que no queden burbujas de aire dentro de la botella y colocarla en incubación a 20°C durante 5 días exactos.
- Incubar además una botella que solamente contenga las soluciones A, B, C y D; y agua destilada.
- Al terminar el período de incubación determinar el oxígeno disuelto.
- Cálculos: $DBO = (OD \text{ inicial} - OD \text{ final}) / (\text{vol. de muestra} / \text{vol. total de la botella})$

Sólidos disueltos totales

Procedimiento:

- Identificar la cápsula de porcelana a ser utilizada. Puede utilizarse marcador
- Llevar a peso constante la cápsula de porcelana a utilizar. Esto puede hacerse colocando la cápsula de porcelana dentro de un horno y calentarla de una a dos horas aproximadamente, luego de realizar esta acción la cápsula no puede ser tocada con las manos.
- Sacar la cápsula de porcelana utilizando una pinza
- Colocar la cápsula en una desecadora para esperar que se enfríe y pueda ser pesada en balanza analítica
- Pesar la cápsula en la balanza analítica
- Verter los 25 ml de agua que fue filtrada en filtro de fibra de vidrio dentro de la cápsula de porcelana, esta no puede ser tomada con la mano, ya que esta tarada (pesada)
- Agarrar la cápsula con una pinza y colocarla dentro del horno, llevar a 85 °C por 24 horas para que el agua se evapore, Nota: si el tiempo no ha sido suficiente se deja la cápsula dentro del horno a la misma temperatura, hasta que esté completamente seca.
- Sacar la cápsula del horno utilizando para ello una pinza (no debe ser tomada con la mano, ya que la grasa que se puede tener en los dedos altera el peso de la cápsula) y colocarla dentro de la desecadora para que llegue a temperatura ambiente
- Pesar en la balanza analítica y calcular por diferencias

Turbidez

- La turbidez será medida utilizando un turbidímetro.

Procedimiento:

- Calibrar el medidor de turbidez con soluciones de calibración.
- La medición con este método se realizará introduciendo en forma progresiva una fracción de líquido a analizar en el tubo, previamente calibrado; la muestra debe de llegar hasta la marca blanca de la celda.

- Limpiar las paredes de la celda con papel mayordomo.
- Colocar en el medidor de turbidez la muestra y leer en auto rango.
- Cada vez que se analice una muestra diferente, el recipiente debe de ser enjuagado con agua destilada.

Determinación de parámetros bacteriológicos

- Los indicadores más usados para estos fines son los llamados organismos coliformes.
- El estimado o determinación de los organismos coliformes se realizará empleando la técnica de los tubos múltiples.

Análisis de coliformes

Procedimiento:

- Preparación de Agar.
- Hacer 1 agar simple, y 1 agar doble; en el agar simple se utiliza 17 gramos de mlx en 1000 ml, y en el agar doble se utiliza 17 mlx en 500 ml.
- Preparar 9 tubos de ensayo por cada muestra que se desee realizar.
- De esos 9 tubos de ensayo a 6 se les agrega 9 ml del agar simple, a los otros 3 se le agrega 10 ml del agar doble.
- Hacer la siembra; para esto debe de colocarse a 3 tubos de ensayo de concentración simple 0.1 ml de la muestra, en los otros 3 tubos de ensayo de concentración simple colocar 1 ml de la muestra; y en los últimos 3 tubos de ensayo de concentración doble agregar 10 ml de la muestra.
- Las pruebas se incubarán a 25°C por 24 hrs.
- Después de las 24 horas, realizar la lectura de los tubos de ensayo. La lectura se realizará por un cambio de color, reacción Indol positiva o negativa

Anexo 4. Determinación del índice de calidad del agua ICA en la red hidrológica de la ciudad de Esquipulas 2017.

Primer Monitoreo

Fuente: Río Tepoctún 1						
Ubicación: Colinas de Santa Lucía						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	6.87	Unidades de pH	84.5	0.12	10.14
3	DBO ₅	0.9	mg/l	89	0.1	8.9
4	Nitratos	0.3505	mg/l	95	0.1	9.5
5	Fosfatos	4.4667	mg/l	16	0.1	1.6
6	Cambio de Temperatura	6.53	Grados Centigrados	35	0.1	3.5
7	Turbidez	2.06	FAU	94	0.08	7.52
8	Sólidos disueltos totales	161.07	mg/l	77	0.08	6.16
9	Oxígeno disuelto	51.33	% Saturación	46	0.17	7.82
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	55.59

Fuente: Río Tepoctún 2						
Ubicación: Barrio San Joaquín						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	6.89	Unidades de pH	84	0.12	10.08
3	DBO ₅	19.8	mg/l	12	0.1	1.2
4	Nitratos	0.66	mg/l	95	0.1	9.5
5	Fosfatos	15.2994	mg/l	1	0.1	0.1
6	Cambio de Temperatura	8.5	Grados Centigrados	25.5	0.1	2.55
7	Turbidez	769	FAU	5	0.08	0.4
8	Sólidos disueltos totales	247	mg/l	67.5	0.08	5.4
9	Oxígeno disuelto	56.5	% Saturación	52	0.17	8.84
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	38.52

Fuente: Río Tepoctún 3						
Ubicación: Barrio San Joaquín						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.01	Unidades de pH	7.01	0.12	0.8412
3	DBO ₅	106.5	mg/l	2	0.1	0.2
4	Nitratos	0.587	mg/l	94	0.1	9.4
5	Fosfatos	15.1667	mg/l	1	0.1	0.1
6	Cambio de Temperatura	4.17	Grados Centigrados	25	0.1	2.5
7	Turbidez	155	FAU	5	0.08	0.4
8	Sólidos disueltos totales	224	mg/l	97	0.08	7.76
9	Oxígeno disuelto	12.92	% Saturación	15	0.17	2.55
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	24.20

Fuente: Río Tepoctún 4						
Ubicación: Residenciales del Valle						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.02	Unidades de pH	7.02	0.12	0.8424
3	DBO ₅	88.5	mg/l	2	0.1	0.2
4	Nitratos	0.5217	mg/l	90.5	0.1	9.05
5	Fosfatos	14.5	mg/l	1	0.1	0.1
6	Cambio de Temperatura	5.57	Grados Centigrados	28.5	0.1	2.85
7	Turbidez	134	FAU	5	0.08	0.4
8	Sólidos disueltos totales	215	mg/l	68.4	0.08	5.472
9	Oxígeno disuelto	38.7	% Saturación	28	0.17	4.76
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	24.12

Fuente: Río Santiago 1						
Ubicación: Colonia San Juan						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.23	Unidades de pH	61	0.12	7.32
3	DBO ₅	9.3	mg/l	37	0.1	3.7
4	Nitratos	0.5163	mg/l	90	0.1	9
5	Fosfatos	1.0056	mg/l	39.5	0.1	3.95
6	Cambio de Temperatura	8.17	Grados Centigrados	26.8	0.1	2.68
7	Turbidez	20	FAU	52.9	0.08	4.232
8	Sólidos disueltos totales	82.646	mg/l	69	0.08	5.52
9	Oxígeno disuelto	97.47	% Saturación	97.5	0.17	16.575
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	53.43

Fuente: Río Santiago 2						
Ubicación: Barrio San Joaquín						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.01	Unidades de pH	90	0.12	10.8
3	DBO ₅	84.6	mg/l	2	0.1	0.2
4	Nitratos	1.1141	mg/l	95	0.1	9.5
5	Fosfatos	13.5194	mg/l	1	0.1	0.1
6	Cambio de Temperatura	8.107	Grados Centigrados	26.5	0.1	2.65
7	Turbidez	217	FAU	5	0.08	0.4
8	Sólidos disueltos totales	77.632	mg/l	86	0.08	6.88
9	Oxígeno disuelto	53.3	% Saturación	50	0.17	8.5
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	39.48

Fuente: Río Chacalapa 1						
Ubicación: Turicentro cueva de las minas						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.38	Unidades de pH	92.5	0.12	11.1
3	DBO ₅	12.9	mg/l	26	0.1	2.6
4	Nitratos	0.4185	mg/l	95	0.1	9.5
5	Fosfatos	1.2667	mg/l	36.5	0.1	3.65
6	Cambio de Temperatura	8.53	Grados Centigrados	28	0.1	2.8
7	Turbidez	5	FAU	87	0.08	6.96
8	Sólidos disueltos totales	145.43	mg/l	77	0.08	6.16
9	Oxígeno disuelto	88.3	% Saturación	92.4	0.17	15.708
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	58.928

Fuente: Río Chacalapa 2						
Ubicación: Puente Los Milagros						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	25.61	Unidades de pH	3	0.12	0.36
3	DBO ₅	39.6	mg/l	2	0.1	0.2
4	Nitratos	3.6413	mg/l	82	0.1	8.2
5	Fosfatos	0.7278	mg/l	56	0.1	5.6
6	Cambio de Temperatura	5.3	Grados Centigrados	28	0.1	2.8
7	Turbidez	46	FAU	42	0.08	3.36
8	Sólidos disueltos totales	118.4	mg/l	82.5	0.08	6.6
9	Oxígeno disuelto	101.43	% Saturación	98.5	0.17	16.745
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	44.32

Fuente: Río Chacalapa 3						
Ubicación: Colonia San Mateo 2						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.12	Unidades de pH	90.5	0.12	10.86
3	DBO ₅	110.4	mg/l	2	0.1	0.2
4	Nitratos	0.6821	mg/l	94	0.1	9.4
5	Fosfatos	14.8889	mg/l	1	0.1	0.1
6	Cambio de Temperatura	9.2	Grados Centigrados	23	0.1	2.3
7	Turbidez	192	FAU	5	0.08	0.4
8	Sólidos disueltos totales	111.393	mg/l	95	0.08	7.6
9	Oxígeno disuelto	3.4	% Saturación	2	0.17	0.34
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	31.65

Fuente: Río Chacalapa 4						
Ubicación: Residenciales del Valle						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.01	Unidades de pH	7.01	0.12	0.8412
3	DBO ₅	106.5	mg/l	2	0.1	0.2
4	Nitratos	0.587	mg/l	95	0.1	9.5
5	Fosfatos	15.1667	mg/l	1	0.1	0.1
6	Cambio de Temperatura	4.17	Grados Centigrados	54	0.1	5.4
7	Turbidez	155	FAU	5	0.08	0.4
8	Sólidos disueltos totales	224	mg/l	69.5	0.08	5.56
9	Oxígeno disuelto	12.92	% Saturación	7.5	0.17	1.275
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	23.73

Fuente: Quebrada Oscura						
Ubicación: Col. San Mateo 1						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7	Unidades de pH	90	0.12	10.8
3	DBO ₅	189.6	mg/l	2	0.1	0.2
4	Nitratos	0.5815	mg/l	95	0.1	9.5
5	Fosfatos	16.22	mg/l	1	0.1	0.1
6	Cambio de Temperatura	8.19	Grados Centigrados	26	0.1	2.6
7	Turbidez	300	FAU	5	0.08	0.4
8	Sólidos disueltos totales	209.77	mg/l	70	0.08	5.6
9	Oxígeno disuelto	4.37	% Saturación	3	0.17	0.51
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	30.16

Fuente: Río Los Espinos 1						
Ubicación: Residenciales del Valle						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	6.92	Unidades de pH	88.5	0.12	10.62
3	DBO ₅	136.95	mg/l	2	0.1	0.2
4	Nitratos	0.6359	mg/l	93.5	0.1	9.35
5	Fosfatos	15.2778	mg/l	1	0.1	0.1
6	Cambio de Temperatura	3.7	Grados Centigrados	60	0.1	6
7	Turbidez	148	FAU	5	0.08	0.4
8	Sólidos disueltos totales	223	mg/l	69	0.08	5.52
9	Oxígeno disuelto	12.73	% Saturación	23.5	0.17	3.995
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	36.635

Fuente: Río Los Espinos 2						
Ubicación: Residenciales del Bosque						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.12	Unidades de pH	91	0.12	10.92
3	DBO ₅	62.1	mg/l	2	0.1	0.2
4	Nitratos	0.5326	mg/l	93	0.1	9.3
5	Fosfatos	14.2417	mg/l	1	0.1	0.1
6	Cambio de Temperatura	0.6	Grados Centigrados	87	0.1	8.7
7	Turbidez	74	FAU	26	0.08	2.08
8	Sólidos disueltos totales	210.57	mg/l	63.5	0.08	5.08
9	Oxígeno disuelto	4.83	% Saturación	3.5	0.17	0.595
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	37.43

Fuente: Río Los Espinos 3						
Ubicación: Aldea Atulapa						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.49	Unidades de pH	94	0.12	11.28
3	DBO ₅	18.9	mg/l	14	0.1	1.4
4	Nitratos	0.5109	mg/l	94	0.1	9.4
5	Fosfatos	12.3722	mg/l	1	0.1	0.1
6	Cambio de Temperatura	2.9	Grados Centigrados	58	0.1	5.8
7	Turbidez	23	FAU	58	0.08	4.64
8	Sólidos disueltos totales	201.43	mg/l	72	0.08	5.76
9	Oxígeno disuelto	79.97	% Saturación	87	0.17	14.79
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	53.62

Fuente: Río Olopita 1						
Ubicación Aldea Atulapa						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.83	Unidades de pH	87	0.12	10.44
3	DBO ₅	11.7	mg/l	29	0.1	2.9
4	Nitratos	0.4239	mg/l	93	0.1	9.3
5	Fosfatos	0.6222	mg/l	1	0.1	0.1
6	Cambio de Temperatura	8.9	Grados Centigrados	24.5	0.1	2.45
7	Turbidez	7	FAU	76	0.08	6.08
8	Sólidos disueltos totales	95.33	mg/l	85.4	0.08	6.832
9	Oxígeno disuelto	103.8	% Saturación	98	0.17	16.66
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	55.212

Fuente: Río Olopita						
Ubicación: Aldea Atulapa						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.43	Unidades de pH	93.5	0.12	11.22
3	DBO ₅	11.7	mg/l	29	0.1	2.9
4	Nitratos	0.6848	mg/l	93	0.1	9.3
5	Fosfatos	7.4787	mg/l	1	0.1	0.1
6	Cambio de Temperatura	4.3	Grados Centigrados	52	0.1	5.2
7	Turbidez	18	FAU	64	0.08	5.12
8	Sólidos disueltos totales	150.3	mg/l	78.2	0.08	6.256
9	Oxígeno disuelto	90.43	% Saturación	94	0.17	15.98
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	56.53

Segundo Monitoreo

Fuente: Río Tepoctún 1						
Ubicación: Colinas de Santa Lucia						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	6.76	Unidades de pH	77.2	0.12	9.264
3	DBO ₅	12.6	mg/l	27	0.1	2.7
4	Nitratos	0.01	mg/l	96	0.1	9.6
5	Fosfatos	0.1965	mg/l	92	0.1	9.2
6	Cambio de Temperatura	4.8	Grados Centigrados	46.1	0.1	4.61
7	Turbidez	43	FAU	44.5	0.08	3.56
8	Sólidos disueltos totales	65.47	mg/l	87	0.08	6.96
9	Oxígeno disuelto	101.27	% Saturación	98	0.17	16.66
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	63.00

Fuente: Río Tepoctún 2						
Barrio San Joaquín						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	6.52	Unidades de pH	94	0.12	11.28
3	DBO ₅	24.75	mg/l	7	0.1	0.7
4	Nitratos	0.01	mg/l	97	0.1	9.7
5	Fosfatos	0.274	mg/l	86	0.1	8.6
6	Cambio de Temperatura	4.9	Grados Centigrados	44.5	0.1	4.45
7	Turbidez	53	FAU	37	0.08	2.96
8	Sólidos disueltos totales	72	mg/l	86	0.08	6.88
9	Oxígeno disuelto	96.3	% Saturación	96	0.17	16.32
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	61.34

Fuente: Río Tepoctún 3						
Ubicación: Barrio San Joaquín						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	6.87	Unidades de pH	86	0.12	10.32
3	DBO ₅	14.55	mg/l	22	0.1	2.20
4	Nitratos	0.1005	mg/l	98	0.1	9.80
5	Fosfatos	2.35	mg/l	26	0.1	2.60
6	Cambio de Temperatura	4.2	Grados Centigrados	54	0.1	5.40
7	Turbidez	142	FAU	5	0.08	0.40
8	Sólidos disueltos totales	72	mg/l	97	0.08	7.76
9	Oxígeno disuelto	95.67	% Saturación	92.5	0.17	15.73
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	54.66

Fuente: Río Santiago 1						
Ubicación: Colonia San Juan						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	6.56	Unidades de pH	72	0.12	8.64
3	DBO ₅	10.35	mg/l	35	0.1	3.5
4	Nitratos	2.1467	mg/l	90	0.1	9
5	Fosfatos	2.0583	mg/l	27	0.1	2.7
6	Cambio de Temperatura	4	Grados Centigrados	56.9	0.1	5.69
7	Turbidez	71.8	FAU	28.5	0.08	2.28
8	Sólidos disueltos totales	65.63	mg/l	87	0.08	6.96
9	Oxígeno disuelto	100.57	% Saturación	99	0.17	16.83
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	56.05

Fuente: Río Tepoctun 4						
Ubicación: Residenciales del Valle						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	6.93	Unidades de pH	58	0.12	6.96
3	DBO ₅	13.05	mg/l	47	0.1	4.7
4	Nitratos	0.1304	mg/l	98	0.1	9.8
5	Fosfatos	1.8472	mg/l	29	0.1	2.9
6	Cambio de Temperatura	5.3	Grados Centigrados	42	0.1	4.2
7	Turbidez	137	FAU	5	0.08	0.4
8	Sólidos disueltos totales	74.3	mg/l	96	0.08	7.68
9	Oxígeno disuelto	98.4	% Saturación	91	0.17	15.47
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	52.56

Fuente: Río Santiago 2						
Ubicación: Barrio San Joaquín						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	6.62	Unidades de pH	74	0.12	8.88
3	DBO ₅	12.75	mg/l	27	0.1	2.7
4	Nitratos	0.0598	mg/l	98	0.1	9.8
5	Fosfatos	3.0944	mg/l	21	0.1	2.1
6	Cambio de Temperatura	4.5	Grados Centigrados	50	0.1	5
7	Turbidez	332	FAU	5	0.08	0.4
8	Sólidos disueltos totales	77.4	mg/l	85.5	0.08	6.84
9	Oxígeno disuelto	96.63	% Saturación	98	0.17	16.66
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	52.83

Fuente: Río Chacalapa 1						
Ubicación: Turicentro cueva de las minas						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	6.87	Unidades de pH	84.5	0.12	10.14
3	DBO ₅	9	mg/l	38	0.1	3.8
4	Nitratos	0.0516	mg/l	98	0.1	9.8
5	Fosfatos	1.1778	mg/l	39	0.1	3.9
6	Cambio de Temperatura	8.4	Grados Centigrados	27	0.1	2.7
7	Turbidez	49	FAU	39	0.08	3.12
8	Sólidos disueltos totales	40.33	mg/l	97	0.08	7.76
9	Oxígeno disuelto	100.43	% Saturación	98	0.17	16.66
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	58.33

Fuente: Río Chacalapa 2						
Ubicación: Puente Los Milagros						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	6.96	Unidades de pH	85.5	0.12	10.26
3	DBO ₅	8.4	mg/l	68	0.1	6.8
4	Nitratos	0.0353	mg/l	98	0.1	9.8
5	Fosfatos	1.4167	mg/l	39	0.1	3.9
6	Cambio de Temperatura	8.3	Grados Centigrados	28	0.1	2.8
7	Turbidez	80	FAU	25	0.08	2
8	Sólidos disueltos totales	45.2	mg/l	85.7	0.08	6.856
9	Oxígeno disuelto	100.46	% Saturación	86	0.17	14.62
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	57.49

Fuente: Río Chacalapa 3						
Ubicación: Colonia San Mateo 2						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	6.91	Unidades de pH	85.7	0.12	10.28
3	DBO ₅	3.9	mg/l	62	0.1	6.20
4	Nitratos	0.1386	mg/l	98	0.1	9.80
5	Fosfatos	1.8722	mg/l	29	0.1	2.90
6	Cambio de Temperatura	9.9	Grados Centigrados	22	0.1	2.20
7	Turbidez	112	FAU	5	0.08	0.40
8	Sólidos disueltos totales	51	mg/l	87.5	0.08	7.00
9	Oxígeno disuelto	98.8	% Saturación	99	0.17	16.83
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	56.06

Fuente: Río Chacalapa 4						
Ubicación: Residenciales del Valle						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	6.82	Unidades de pH	85	0.12	10.20
3	DBO ₅	12.75	mg/l	27	0.1	2.70
4	Nitratos	0.1277	mg/l	98	0.1	9.80
5	Fosfatos	1.9333	mg/l	28	0.1	2.80
6	Cambio de Temperatura	4.2	Grados Centigrados	54	0.1	5.40
7	Turbidez	100	FAU	17	0.08	1.36
8	Sólidos disueltos totales	75.23	mg/l	87	0.08	6.96
9	Oxígeno disuelto	96.23	% Saturación	96.5	0.17	16.41
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	56.08

Fuente: Quebrada Oscura						
Ubicación: Colonia San Mateo 1						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	6.92	Unidades de pH	58	0.12	6.96
3	DBO ₅	60.75	mg/l	2	0.1	0.2
4	Nitratos	0.0255	mg/l	96.5	0.1	9.65
5	Fosfatos	1.4955	mg/l	34.5	0.1	3.45
6	Cambio de Temperatura	6.3	Grados Centigrados	35	0.1	3.5
7	Turbidez	264	FAU	5	0.08	0.4
8	Sólidos disueltos totales	144.43	mg/l	79	0.08	6.32
9	Oxígeno disuelto	59.9	% Saturación	58	0.17	9.86
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	40.79

Fuente: Río Los Espinos 1						
Ubicación: Residenciales del Valle						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	6.9	Unidades de pH	58	0.12	6.96
3	DBO ₅	5.55	mg/l	52	0.1	5.2
4	Nitratos	0.0245	mg/l	96	0.1	9.6
5	Fosfatos	0.325	mg/l	77	0.1	7.7
6	Cambio de Temperatura	4.1	Grados Centigrados	54	0.1	5.4
7	Turbidez	126	FAU	5	0.08	0.4
8	Sólidos disueltos totales	74.73	mg/l	96	0.08	7.68
9	Oxígeno disuelto	92.93	% Saturación	95	0.17	16.15
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	59.54

Fuente: Río Los Espinos 2						
Ubicación: Residenciales del Bosque						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.01	Unidades de pH	90	0.12	10.8
3	DBO ₅	3.45	mg/l	68	0.1	6.8
4	Nitratos	0.025	mg/l	96	0.1	9.6
5	Fosfatos	0.5225	mg/l	52	0.1	5.2
6	Cambio de Temperatura	4.4	Grados Centigrados	32	0.1	3.2
7	Turbidez	152	FAU	5	0.08	0.4
8	Sólidos disueltos totales	68.5	mg/l	87	0.08	6.96
9	Oxígeno disuelto	85.97	% Saturación	91	0.17	15.47
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	58.88

Fuente: Río Los Espinos 3						
Ubicación: Aldea Atulapa						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.13	Unidades de pH	90.1	0.12	10.81
3	DBO ₅	8.7	mg/l	28	0.1	2.80
4	Nitratos	0.0325	mg/l	96	0.1	9.60
5	Fosfatos	0.2935	mg/l	78	0.1	7.80
6	Cambio de Temperatura	9.1	Grados Centigrados	24	0.1	2.40
7	Turbidez	113	FAU	5	0.08	0.40
8	Sólidos disueltos totales	56.9	mg/l	87	0.08	6.96
9	Oxígeno disuelto	99.13	% Saturación	98	0.17	16.66
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	57.88

Fuente: Río Olopita 1						
Aldea Atulapa						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.12	Unidades de pH	90.1	0.12	10.812
3	DBO ₅	7.35	mg/l	76	0.1	7.6
4	Nitratos	0.0175	mg/l	98	0.1	9.8
5	Fosfatos	0.2775	mg/l	79	0.1	7.9
6	Cambio de Temperatura	8.7	Grados Centigrados	26	0.1	2.6
7	Turbidez	115	FAU	5	0.08	0.4
8	Sólidos disueltos totales	46	mg/l	86	0.08	6.88
9	Oxígeno disuelto	98.63	% Saturación	99	0.17	16.83
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	63.272

Fuente: Río Olopita 2						
Ubicación: Aldea Atulapa						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.1	Unidades de pH	90	0.12	10.80
3	DBO ₅	7.35	mg/l	76	0.1	7.60
4	Nitratos	0.0315	mg/l	96	0.1	9.60
5	Fosfatos	0.294	mg/l	76	0.1	7.60
6	Cambio de Temperatura	8.1	Grados Centigrados	27	0.1	2.70
7	Turbidez	122	FAU	5	0.08	0.40
8	Sólidos disueltos totales	47.23	mg/l	85	0.08	6.80
9	Oxígeno disuelto	98.93	% Saturación	99	0.17	16.83
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	62.78

Tercer Monitoreo

Fuente: Río Tepoctún 1						
Ubicación: Colonia Colinas de Santa Lucía						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.78	Unidades de pH	89	0.12	10.68
3	DBO ₅	6.67	mg/l	48.5	0.1	4.85
4	Nitratos	0.092	mg/l	98	0.1	9.8
5	Fosfatos	1.461	mg/l	33	0.1	3.3
6	Cambio de Temperatura	7.27	Grados Centigrados	29	0.1	2.9
7	Turbidez	7.35	FAU	84	0.08	6.72
8	Sólidos disueltos totales	16.1	mg/l	81	0.08	6.48
9	Oxígeno disuelto	97.9	% Saturación	98	0.17	16.66
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	61.84

Fuente: Río Tepoctún 2						
Ubicación: Barrio San Joaquín						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.78	Unidades de pH	87	0.12	10.44
3	DBO ₅	4.5	mg/l	62	0.1	6.2
4	Nitratos	0.109	mg/l	97	0.1	9.7
5	Fosfatos	2.728	mg/l	23	0.1	2.3
6	Cambio de Temperatura	4.1	Grados Centigrados	57	0.1	5.7
7	Turbidez	8.3	FAU	84	0.08	6.72
8	Sólidos disueltos totales	17.85	mg/l	82	0.08	6.56
9	Oxígeno disuelto	59.8	% Saturación	59	0.17	10.03
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	58.1

Fuente: Río Tepoctún 3						
Ubicación: Barrio San Joaquín						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.82	Unidades de pH	85	0.12	10.2
3	DBO ₅	9.9	mg/l	35	0.1	3.5
4	Nitratos	0.136	mg/l	97	0.1	9.7
5	Fosfatos	5.278	mg/l	13	0.1	1.3
6	Cambio de Temperatura	6.5	Grados Centigrados	34	0.1	3.4
7	Turbidez	23.06	FAU	58	0.08	4.64
8	Sólidos disueltos totales	73	mg/l	96.5	0.08	7.72
9	Oxígeno disuelto	75.77	% Saturación	96	0.17	16.32
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	57.23

Fuente: Río Tepoctún						
Ubicación: Residenciales del Valle						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.78	Unidades de pH	89	0.12	10.68
3	DBO ₅	14.4	mg/l	22	0.1	2.2
4	Nitratos	0.196	mg/l	96	0.1	9.6
5	Fosfatos	3.461	mg/l	17	0.1	1.7
6	Cambio de Temperatura	8.1	Grados Centigrados	27	0.1	2.7
7	Turbidez	17.43	FAU	65	0.08	5.2
8	Sólidos disueltos totales	72.34	mg/l	97	0.08	7.76
9	Oxígeno disuelto	76.57	% Saturación	95	0.17	16.15
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	56.44

Fuente: Río Santiago 1						
Ubicación: Colonia San Juan						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.84	Unidades de pH	87	0.12	10.44
3	DBO ₅	9.9	mg/l	34	0.1	3.4
4	Nitratos	0.076	mg/l	98	0.1	9.8
5	Fosfatos	1.872	mg/l	29	0.1	2.9
6	Cambio de Temperatura	5.8	Grados Centigrados	39	0.1	3.9
7	Turbidez	13.4	FAU	71	0.08	5.68
8	Sólidos disueltos totales	68.6	mg/l	85	0.08	6.8
9	Oxígeno disuelto	95.56	% Saturación	97	0.17	16.49
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	59.86

Fuente: Río Santiago 2						
Ubicación: Barrio San Joaquín						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.91	Unidades de pH	96	0.12	11.52
3	DBO ₅	3.3	mg/l	69	0.1	6.9
4	Nitratos	0.136	mg/l	99	0.1	9.9
5	Fosfatos	5.489	mg/l	12	0.1	1.2
6	Cambio de Temperatura	4.4	Grados Centigrados	58	0.1	5.8
7	Turbidez	21.2	FAU	97	0.08	7.76
8	Sólidos disueltos totales	80.36	mg/l	86	0.08	6.88
9	Oxígeno disuelto	78.83	% Saturación	88	0.17	14.96
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	65.37

Fuente: Río Chacalapa 1						
Ubicación: Turicentro cueva de las minas						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	8.077	Unidades de pH	84	0.12	10.08
3	DBO ₅	7.8	mg/l	36	0.1	3.6
4	Nitratos	0.087	mg/l	99	0.1	9.9
5	Fosfatos	1.656	mg/l	31	0.1	3.1
6	Cambio de Temperatura	5	Grados Centigrados	44	0.1	4.4
7	Turbidez	16.2	FAU	61	0.08	4.88
8	Sólidos disueltos totales	45.97	mg/l	86	0.08	6.88
9	Oxígeno disuelto	96.5	% Saturación	98	0.17	16.66
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	59.95

Fuente: Río Chacalapa 2						
Ubicación: Puente Los Milagros						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	8.01	Unidades de pH	84	0.12	10.08
3	DBO ₅	5.7	mg/l	54.5	0.1	5.45
4	Nitratos	1.304	mg/l	98	0.1	9.8
5	Fosfatos	1.572	mg/l	32	0.1	3.2
6	Cambio de Temperatura	5.6	Grados Centigrados	37	0.1	3.7
7	Turbidez	19.01	FAU	63	0.08	5.04
8	Sólidos disueltos totales	42.8	mg/l	86	0.08	6.88
9	Oxígeno disuelto	97.23	% Saturación	97	0.17	16.49
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	61.09

Fuente: Río Chacalapa 3						
Ubicación: Colonia San Mateo 2						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.79	Unidades de pH	86	0.12	10.32
3	DBO ₅	25.8	mg/l	8.5	0.1	0.85
4	Nitratos	0.008	mg/l	98	0.1	9.8
5	Fosfatos	2.292	mg/l	25	0.1	2.5
6	Cambio de Temperatura	5.4	Grados Centigrados	40	0.1	4
7	Turbidez	43.9	FAU	43	0.08	3.44
8	Sólidos disueltos totales	53	mg/l	87	0.08	6.96
9	Oxígeno disuelto	83.53	% Saturación	93	0.17	15.81
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	54.13

Fuente: Río Chacalapa 4						
Ubicación: Residenciales del Valle						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.63	Unidades de pH	90	0.12	10.8
3	DBO ₅	12.3	mg/l	24	0.1	2.4
4	Nitratos	0.207	mg/l	96	0.1	9.6
5	Fosfatos	3.939	mg/l	17	0.1	1.7
6	Cambio de Temperatura	5	Grados Centigrados	45	0.1	4.5
7	Turbidez	63.6	FAU	33	0.08	2.64
8	Sólidos disueltos totales	79.47	mg/l	86	0.08	6.88
9	Oxígeno disuelto	71.33	% Saturación	94	0.17	15.98
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	54.95

Fuente: Quebrada Oscura						
Ubicación: Colonia San Mateo 1						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.72	Unidades de pH	90	0.12	10.8
3	DBO ₅	52.5	mg/l	2	0.1	0.2
4	Nitratos	0.429	mg/l	96	0.1	9.6
5	Fosfatos	10.522	mg/l	1	0.1	0.1
6	Cambio de Temperatura	9.6	Grados Centigrados	22	0.1	2.2
7	Turbidez	89.43	FAU	77	0.08	6.16
8	Sólidos disueltos totales	127.2	mg/l	79	0.08	6.32
9	Oxígeno disuelto	49	% Saturación	42	0.17	7.14
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	42.97

Fuente: Río Los Espinos 1						
Ubicación: Residenciales del Valle						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.62	Unidades de pH	91	0.12	10.92
3	DBO ₅	17.7	mg/l	16	0.1	1.6
4	Nitratos	0.141	mg/l	97	0.1	9.7
5	Fosfatos	4.378	mg/l	15	0.1	1.5
6	Cambio de Temperatura	9	Grados Centigrados	24	0.1	2.4
7	Turbidez	44.97	FAU	42	0.08	3.36
8	Sólidos disueltos totales	87.7	mg/l	86	0.08	6.88
9	Oxígeno disuelto	73.9	% Saturación	96	0.17	16.32
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	53.13

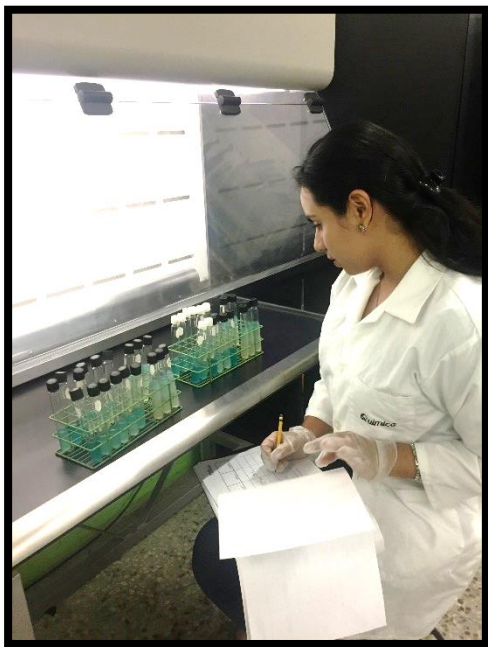
Fuente: Río Los Espinos 2						
Ubicación: Residenciales del Bosque						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.67	Unidades de pH	90	0.12	10.8
3	DBO ₅	17.7	mg/l	16	0.1	1.6
4	Nitratos	0.092	mg/l	97	0.1	9.7
5	Fosfatos	3.889	mg/l	18	0.1	1.8
6	Cambio de Temperatura	5.76	Grados Centigrados	38	0.1	3.8
7	Turbidez	43.35	FAU	42	0.08	3.36
8	Sólidos disueltos totales	82	mg/l	87	0.08	6.96
9	Oxígeno disuelto	83.17	% Saturación	89	0.17	15.13
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	53.6

Fuente: Río Los Espinos 3						
Ubicación: Aldea Atulapa						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.8	Unidades de pH	87.5	0.12	10.5
3	DBO ₅	9	mg/l	39	0.1	3.9
4	Nitratos	0.185	mg/l	97	0.1	9.7
5	Fosfatos	1.983	mg/l	28	0.1	2.8
6	Cambio de Temperatura	5	Grados Centigrados	44	0.1	4.4
7	Turbidez	83.25	FAU	28	0.08	2.24
8	Sólidos disueltos totales	43.73	mg/l	86	0.08	6.88
9	Oxígeno disuelto	94.83	% Saturación	94	0.17	15.98
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	56.85

Fuente: Río Olopita 1						
Ubicación: Aldea Atulapa						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.65	Unidades de pH	87	0.12	10.44
3	DBO ₅	18.9	mg/l	14	0.1	1.4
4	Nitratos	0.207	mg/l	96	0.1	9.6
5	Fosfatos	2.656	mg/l	24	0.1	2.4
6	Cambio de Temperatura	3.7	Grados Centigrados	40	0.1	4
7	Turbidez	82.27	FAU	22	0.08	1.76
8	Sólidos disueltos totales	42.47	mg/l	87	0.08	6.96
9	Oxígeno disuelto	89.63	% Saturación	92	0.17	15.64
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	52.65

Fuente: Río Olopita 2						
Ubicación: Aldea Atulapa						
	Parametros	Valor	Unidades	Subi	Wi	Total
1	Coliformes fecales	2400	NMP/100 ml	3	0.15	0.45
2	pH	7.68	Unidades de pH	90	0.12	10.8
3	DBO ₅	12.6	mg/l	26	0.1	2.6
4	Nitratos	0.212	mg/l	96	0.1	9.6
5	Fosfatos	2.128	mg/l	27	0.1	2.7
6	Cambio de Temperatura	4	Grados Centigrados	57	0.1	5.7
7	Turbidez	85	FAU	23	0.08	1.84
8	Sólidos disueltos totales	46.77	mg/l	86	0.08	6.88
9	Oxígeno disuelto	94.37	% Saturación	97	0.17	16.49
Valor de Índice de Calidad de Agua -ICA-					Suma	57.06

Anexo 5. Fotografías de las actividades que se llevaron a cabo en la investigación.



Fotografía 1. Análisis Bacteriológico



Fotografía 2. Presencia de fosfatos



Fotografía 3. Segundo monitoreo



Fotografía 4. Análisis BDO₅



Fotografía 5. Identificación puntos de descarga de aguas residuales.



Fotografía 6. Drenaje central de la ciudad Esquipulas