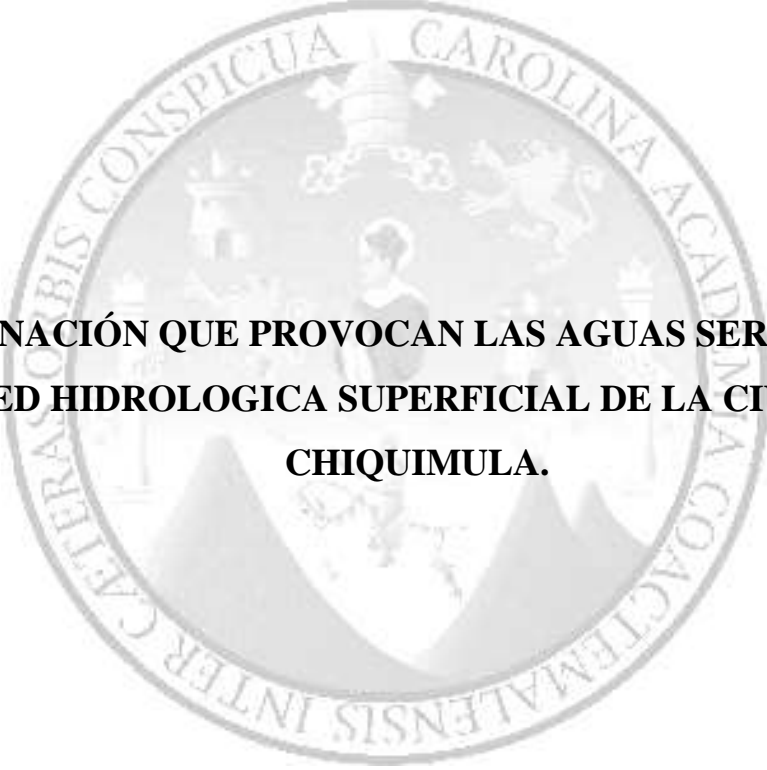


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRIA EN CIENCIAS EN GESTION AMBIENTAL LOCAL**



**CONTAMINACIÓN QUE PROVOCAN LAS AGUAS SERVIDAS SOBRE
LA RED HIDROLOGICA SUPERFICIAL DE LA CIUDAD DE
CHIQUMULA.**

JOSÉ RAMIRO GARCÍA ALVAREZ

GUATEMALA ABRIL DE 2010

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS:** Hacedor supremo, fuente de sabiduría, quien me da la voluntad y dedicación para alcanzar las metas de mi vida.
- A LA VIRGEN MARIA:** Por derramar bendiciones sobre mi persona a lo largo de mi vida profesional.
- A MIS PADRES:** José Ramiro García
Rosa Margarita Álvarez Linares de García
- A MI ESPOSA:** Damaris, por su apoyo y amor incondicional.
- A MIS HIJOS:** Andrea María y Fernando José
- A MIS HERMANOS:** Manuel Gilberto, Armando Alberto, Rosa Evelia y Elba Concepción
- A MIS SOBRINOS:** Andrés Francisco y Lourdes Margarita
- A MIS ABUELOS:** Manuel de Jesús Morales (QEPD)
Rosa Lina García (QEPD)
Lucila Linares Monroy (QEPD)
- A MIS TIOS:** Carlos García (QEPD)
Guadalupe Álvarez Linares
- A MI FAMILIA:** En general
- A MIS COMPAÑEROS:** Por su amistad, y con quienes compartimos inolvidables momentos. Especialmente a Godofredo Ayala y Carlos Esteban.
- A MIS AMIGOS:** Para cada uno con afecto especial.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

A DIOS:

Por sus múltiples bendiciones.

**A MIS PADRES,
ESPOSA, HIJOS Y
HERMANOS:**

Por su amor y apoyo incondicional.

A:

Ing. Civ. MSc. Ricardo Otoniel Suchini, e Ing. Agr. MSc. Rodolfo Chicas Soto por su paciencia y esmero en la asesoría, revisión y corrección de la investigación, que para mi tiene un valor incalculable.

Ph. D. Eddi Alejandro Vanegas, por su apoyo y colaboración en la asesoría de la investigación. Así como por su amistad y atenciones con mi persona durante el desarrollo de la Maestría.

Ing. Agr. MSc. Mario Roberto Díaz Moscoso por su apoyo, colaboración y atenciones con mi persona durante el desarrollo de la Maestría.

Ing. Agr. Fredy Coronado, por sus sugerencias y atenciones que me brindara para el desarrollo de la investigación.

Licda. Sandra Prado, por sus sugerencias que me brindo en la realización de la investigación.

Lic. Abner Rodas, por su apoyo y orientación en la realización de los análisis de agua.

Ing. Agr. Manuel Gilberto García, por apoyo en la elaboración de mapas temáticos incluidos en la investigación.

Héctor López, su colaboración para la ejecución de la fase de campo de la investigación.

El Centro Universitario de Oriente –CUNORI-, la carrera de Agronomía y al Proyecto Fortalecimiento Institucional para la Gestión Ambiental Local –FIGAL-, por la oportunidad brindada de realizar estudios de postgrado.

La Jefatura de Área de Salud de Chiquimula, por el apoyo en el análisis microbiológico del agua.

Todas aquellas personas que de una forma u otra, colaboraron en realizar la investigación.

INDICE GENERAL

INDICE DE CUADROS	i
INDICE DE GRAFICAS	ii
INDICE DE FIGURAS	iii
RESUMEN	iv
1. INTRODUCCION	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2. JUSTIFICACION	4
3. OBJETIVOS	5
4.1 Objetivo General	5
4.2 Objetivos Específicos	5
5. HIPOTESIS	5
6. MARCO TEORICO	6
6.1 MARCO CONCEPTUAL	6
6.1.1 Antecedentes	6
6.1.2 Contaminación del Agua	7
6.1.3 Características de las Agua Residuales	9
6.1.4 Índice de Calidad de Agua General “ICA”	11
6.1.5 Estudios Relacionados con la Propuesta	17
6.2 MARCO REFERENCIAL	24
6.2.1 Municipio y la Ciudad de Chiquimula	24
6.2.2 Red Hidrológica de la Ciudad de Chiquimula	24
6.2.3 Localización de Área de Estudio	25
6.2.4 Clima de Zonas de Vida	25
7. MARCO METODOLOGICO	26
7.1 Determinación del Área de Estudio	26
7.2 Establecimiento de los Puntos de Control	26
7.3 Técnicas de Recolección de Datos y Muestreo	27
7.4 Estimación de Índice de Calidad de Agua –ICA-	28
7.5 Periodo de Control	34
7.6 Distribución de los Puntos de Descarga del Sistema de Drenaje de la Ciudad Chiquimula.	34

7.7	Lineamientos para el Manejo de Agua Servidas en la Red Hidrológica de la Ciudad de Chiquimula	35
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
8.1	Establecimiento de Puntos de Control en la Red Hidrológica Superficial en la Ciudad de Chiquimula	36
8.2	Valores de los Parámetros del Índice de Calidad de Agua –ICA- en la Red Hidrológica de la Ciudad de Chiquimula	38
8.3	Índice de Calidad de Agua –ICA- de la Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula	44
8.4	Calidad de Agua de la Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula	47
8.5	Contaminación de la Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula	54
8.6	Distribución de Puntos de Descarga de Aguas Servidas sobre la Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula	56
8.7	Lineamientos para el Manejo de las Aguas Servidas de la Ciudad de Chiquimula	58
9.	CONCLUSIONES	64
10.	RECOMENDACIONES	65
11.	BIBLIOGRAFIA	66
12.	ANEXOS	

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Contenido	Pag.
1	Clasificación del ICA propuesta de Brown	14
2	Peso específico de los parámetros	19
3	Ejemplo de aplicación del ICA en la cuenca del río Lerma	21
4	Peso relativo para cada parámetro del ICA	29
5	Solubilidad del oxígeno en agua dulce	31
6	Cálculo del Índice de Calidad de Agua	32
7	Clasificación de ICA propuesta por Brown (1970)	32
8	Puntos de control establecidos en la red hidrológica de la Ciudad de Chiquimula	37
9	Resultado de los 9 parámetros en los dos puntos de control establecidos en el río Tacó que conforma la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula	39
10	Resultado de los 9 parámetros en los dos puntos de control establecidos en el río San José que conforma la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula	41
11	Resultado de los 9 parámetros en los dos puntos de control establecidos en el río Shusho que conforma la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula	43
12	Resultado de los 9 parámetros en los dos puntos de control establecidos en el río Shutaque que conforma la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula	44
13	Índice de calidad de agua en los puntos de control de la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula, para cada uno de los monitoreos realizados	45
14	Índice de calidad de agua general en la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula.	47
15	Calidad del agua de la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula según criterios generales de uso	50
16	Contaminación que provocan las aguas servidas sobre la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula	55
17	Distribución de los puntos de descarga de aguas servidas sobre la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula	57
18	Caudal de tres de los principales puntos de descarga de aguas servidas de la ciudad de Chiquimula	60

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica	Contenido	Pag.
1	Valoración de la calidad del agua en función de coliformes fecales	32
2	Valoración de la calidad del agua en función de pH	32
3	Valoración de la calidad del agua en función de DBO ₅	33
4	Valoración de la calidad del agua en función del nitrato	33
5	Valoración de la calidad del agua en función del fosforo	33
6	Valoración de la calidad del agua en función de la temperatura	33
7	Valoración de la calidad del agua en función de la turbidez	33
8	Valoración de la calidad del agua en función de sólidos disueltos totales	33
9	Valoración de la calidad del agua en función de % de saturación de OD	34
10	Índice de calidad del agua del río Tacó por punto de control	46
11	Índice de calidad del agua del río San José por punto de control	46
12	Índice de calidad del agua del río Shusho por punto de control	46
13	Índice de calidad del agua del río Shutaque por punto de control	46
14	Índice de calidad del agua para cada uno de los puntos de control establecidos en cuatro ríos de la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula	48
15	Contaminación en unidades del índice de calidad del agua –ICA- entre el primer y segundo punto de control en los ríos Tacó, San José y Shusho	56

INDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Pag.
1	Criterios Generales según el Índice de Calidad del Agua	15
2	Rango de Calidad del ICA en Función del Uso del Agua	19
3	Mapa de la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula, donde se muestra la ubicación de los puntos de control	37
4	Mapa donde se muestra la calidad del agua general en la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula	49
5	Criterios generales según el índice de calidad del agua –ICA-	53
6	Mapa que muestra la calidad del agua para consumo humano (Uso Potables) en la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula	53
7	Mapa de la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula, donde se muestra la ubicación de puntos de descarga de aguas servidas en el cauce de los ríos Tacó, San José y Shusho	58
8	Mapa donde se muestra el área con potencial de riego del Valle del río San José utilizando las aguas servidas de la ciudad de Chiquimula	62

1. INTRODUCCIÓN

El agua se encuentra en diversas formas en la naturaleza e influenciada según el ambiente que le rodea, la cual de manera natural o por intervención humana puede contaminarse alterando sus propiedades y provocando daños para lo fines a que se destina; en muchos de los casos la contaminación tiene un origen humano al verter aguas residuales y desechos sólidos en los cuerpos superficiales de agua.

Según el perfil ambiental de Chiquimula el departamento tiene varios problemas ambientales entre ellos la contaminación del recurso hídrico por aguas servidas de origen domestico y deposición de desechos sólidos en el cauce de los ríos. La mayoría de los centros poblados descargan las aguas servidas directamente sin ningún tipo de tratamiento sobre las corrientes de agua superficiales contaminándoles en tal grado que no son aptas para el consumo humano, afectando la disponibilidad de este recurso para diferentes usos por parte de la población.

La ciudad de Chiquimula con aproximadamente 9,400 viviendas y más de 50,000 habitantes, ha experimentado un crecimiento significativo en la última década aumentando la necesidad de servicios básicos tal es el caso de los drenajes, que descargan las aguas servidas producidas diariamente sin ningún tratamiento sobre la red hidrológica conformadas por los Ríos Taco, San José, Sasmó, Shusho y Shutaque al pasar por la ciudad; contaminando el agua superficial de estas fuentes y el agua subterránea, provocando un impacto negativo y el consecuente deterioro ambiental.

El presente estudio se realizo con el objetivo de determinar la contaminación que provocan las aguas servidas generadas por los habitantes de la ciudad Chiquimula sobre la red hidrológica superficial, con el propósito de incidir en las autoridades locales sobre la necesidad de generar políticas y estrategias para el manejo adecuado del recurso hídrico por parte de las autoridades gubernamentales y la población de la ciudad de Chiquimula.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

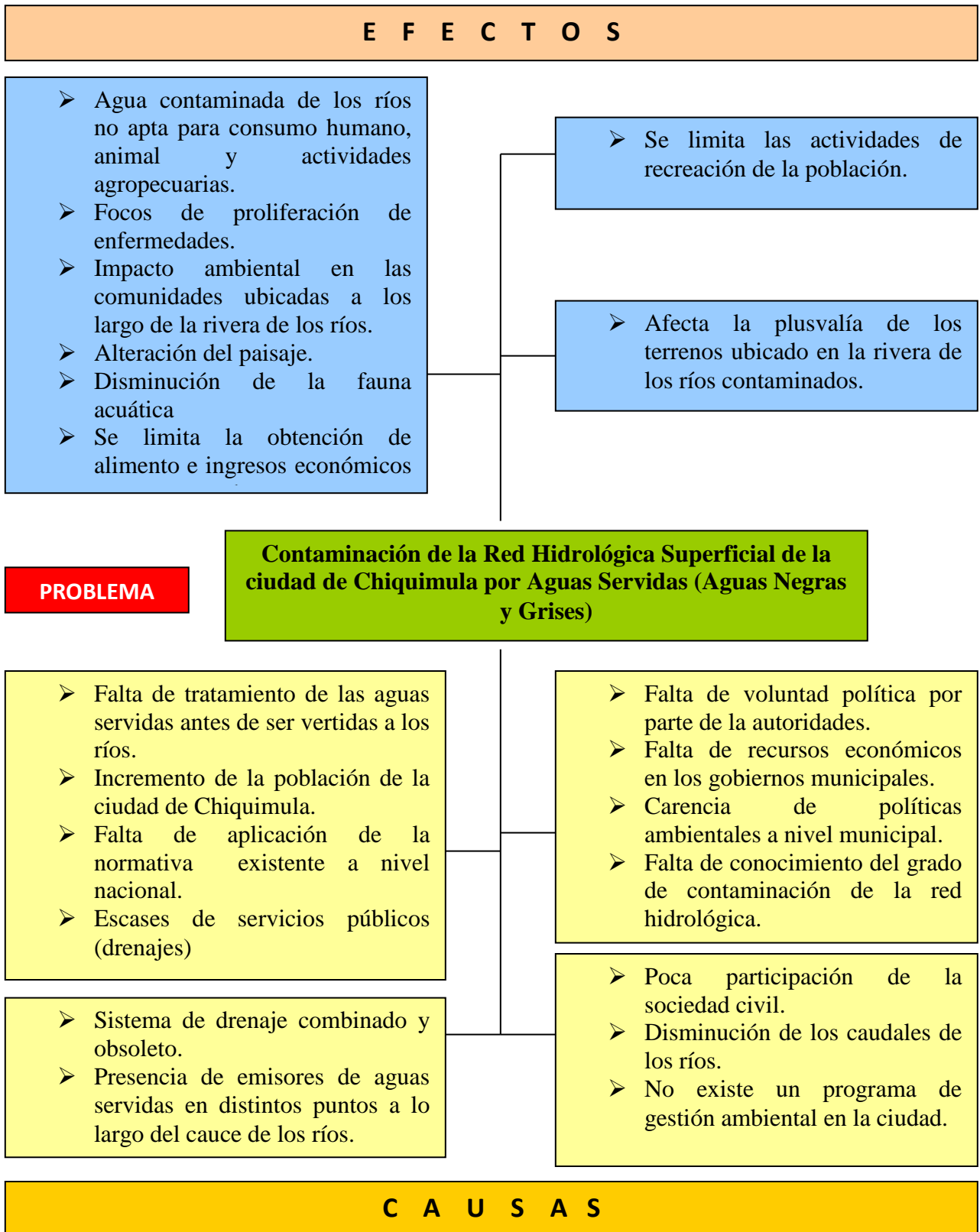
De acuerdo al Perfil Ambiental de Chiquimula del año 2006, uno de los principales problemas ambientales del departamento es la contaminación de recurso hídrico por diversas causas, entre ellas la descarga de agua servidas proveniente de usos domésticos. Según este estudio 10 de las 11 ciudades y villas que tiene el departamento 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.

La ciudad de Chiquimula, en la última década ha tenido un crecimiento significativo de su población que según el Instituto Nacional de Estadística para el 2009 es de 48,000 habitantes y considerando la población flotante diaria esta se incrementa a más de 50,000 habitantes. La población Chiquimulteca demanda diariamente bienes y servicios para cubrir sus necesidades básicas, generando desechos sólidos y líquidos que son vertidos en basureros municipales y clandestinos, así como en las corrientes de agua superficiales de la red hidrológica cercana a la ciudad conformada por los ríos Tacó, San José, Sasmó, Shusho y Shutaque.

Estas aguas servidas producidas por las 9,400 viviendas y más de 50,000 habitantes de la ciudad de Chiquimula son vertidas directamente y sin ningún tratamiento en la red hidrológica por medio del sistema de drenajes especialmente a lo largo de los Ríos Taco, San José, Sasmó y Shusho, contaminando las corrientes de agua superficiales y subterráneas de la ciudad; provocando un impacto al recurso hídrico y un deterioro ambiental.

Es importante indicar que en la ciudad de Chiquimula el componente ambiental ha sido desatendido por diversas razones; falta de recursos económicos, falta de voluntad política o por desconocimiento de la contaminación que provocan las aguas servidas vertidas directamente en los cuerpos de agua. Y actualmente no se cuenta con una normativa a nivel municipal, lo cual provoca que cualquier persona, comunidad o centro poblado descargue los desechos líquidos y sólidos sobre los ríos, con lo que se desaprovecha este recurso para usos domésticos, producción, recreación y consumo humano en una zona árida como en la que se encuentra ubicada la ciudad de Chiquimula.

ARBOL DE PROBLEMA



3. JUSTIFICACION

La ciudad de Chiquimula es la más grande del departamento con una extensión de 7.5 km² y de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística tiene una población aproximada de 50,000 habitantes, y por la importancia que representa la ciudad para actividades comerciales y de estudio, se estima una población flotante de cinco mil habitantes por día.

Según la Oficina Municipal de Planificación la ciudad cuenta con aproximadamente 9,400 viviendas distribuidas en 7 zonas, de las cuales el 80% están conectadas al sistema de drenaje municipal, lo cual evidencia la escases de servicios públicos debido a la mala planificación del crecimiento urbano. Este sistema de drenajes vierte las aguas servidas de la ciudad sin ningún tipo de tratamiento a las corrientes de agua superficiales de los Ríos San José, Taco, Sasmó y Shusho que son parte de la red hidrológica superficial que pasa por la ciudad de Chiquimula, provocando la contaminación tanto de agua superficial como subterránea.

El agua de estos ríos es utilizada para usos domésticos por la población más pobre y vulnerable que habitan en la periferia de la ciudad que no cuenta con sistema de agua potable domiciliar y que tiene la necesidad de aprovechar las fuentes de agua más cercanas aunque estén contaminadas, exponiéndose al contagio de diversas enfermedades por utilizar y consumir agua contaminada; así mismo es utilizada para riego en actividades agropecuarias por las unidades de producción ubicadas en la rivera de los ríos San José, Taco, Shusho y Shutaque. También este sistema hidrológico es importante para la ciudad porque según el estudio de “Abastecimiento de Agua Potable para la ciudad de Chiquimula” realizado por The Louis Berger Group, Inc. en el 2001, representa un potencial para abastecer de agua potable a la ciudad de Chiquimula y actualmente está siendo contaminado por las aguas servidas que se vierten directamente sobre las corrientes de estos ríos al pasar por la ciudad.

Los resultados de este estudio permitieron determinar la contaminación que provocan las aguas servidas de la ciudad de Chiquimula sobre el agua superficial de los ríos Tacó, San José, Shusho y Shutaque, así mismo los resultados de la investigación contribuyen a incidir en las autoridades locales sobre la necesidad de definir en el corto plazo políticas y estrategias municipales que disminuyan la contaminación existente en este sistema hidrológico.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Generar información que permita determinar la contaminación que provocan las aguas residuales en la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula, para proponer lineamientos para el manejo de las aguas servidas.

4.2 Objetivos Específicos

- Determinar los valores de los parámetros del índice de calidad de agua: coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez, sólidos disueltos y oxígeno disuelto, para el agua superficial de los ríos Tacó, San José, Shusho y Shutaque.
- Establecer el índice de calidad de agua “ICA”, para cada uno de los ríos que conforman la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula.
- Representar en un mapa, el patrón de distribución de los puntos de descarga de aguas servidas y los índices de calidad de agua, a lo largo del cauce de los ríos que conforman la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula.
- Proponer lineamientos para el manejo de las aguas servidas, que permitan mejorar la calidad del agua de la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula.

5. HIPOTESIS

Las aguas servidas que producen los habitantes de la ciudad de Chiquimula y que descargan sobre la red hidrológica, provocan contaminación de los cuerpos de agua a tal grado que afectan su calidad y el aprovechamiento para diversos usos.

6. MARCO TEORICO

6.1 MARCO CONCEPTUAL

6.1.1 Antecedentes

En estudios previos de la calidad del agua que se ha realizado en el municipio de Chiquimula, revelan que existe contaminación debida a las descargas de aguas servidas sobre las corrientes de agua de los Ríos Tacó y San José.

Chiquimula se encuentra catalogada como una ciudad de segundo orden, con una población aproximada de 50,000 habitantes con una tasa de crecimiento del 2.48%, este crecimiento de la población provoca un aumento en la necesidad de servicios básicos tales como: agua potable, drenajes y tratamiento de desechos sólidos entre otros. Sin embargo como es común en los municipios de nuestro país los servicios son deficientes y provocan gran deterioro ambiental, en Chiquimula por citar un ejemplo las aguas servidas son descargadas directamente a la red hidrológica del municipio.

Según el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, en el área de Chiquimula una de las principales causas de la morbilidad infantil es el síndrome diarreico intenso, es importante indicar que esta enfermedad se contrae principalmente por el consumo de agua contaminada con bacterias coliformes tal es el caso de *Vibrio coli* y *Escherichia coli*.

Las aguas residuales provenientes de usos domésticos en su mayoría están contaminadas con fosfatos producto de los detergentes y jabones utilizados, y las aguas negras con nitratos debido a las heces fecales y diferentes tipos de bacterias como *Vibrio coli* y *Escherichia coli*, siendo esto la causa de las enfermedades de riesgo para personas que utilizan el agua de los Ríos cercanos a la ciudad de Chiquimula.

Los análisis físico-químico y bacteriológico realizados en los Ríos Tacó y San José que son parte de la red hidrológica superficial de la ciudad, mostraron resultados fuera de los

límites permitidos para consumo humano especialmente en los niveles de bacterias coliformes fecales.

Según el estudio realizado para determinar la factibilidad técnica y económica del sistema de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Chiquimula, se estableció que los Ríos que conforman la red hidrológica cercana a la ciudad de Chiquimula constituyen una fuente potencial para abastecer del vital líquido a la población Chiquimulteca, sin embargo estas fuentes están contaminadas porque reciben las descargas directas de aguas negra y grises de la ciudad de Chiquimula.

6.1.2 Contaminación del Agua

El problema de la contaminación del agua es conocido desde la antigüedad. La OMS está preocupada por la contaminación del agua ya que el agua es necesaria y cada vez más escasa.

El agua constituye un elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades humanas; resulta difícil imaginar cualquier tipo de actividad en la que no se utilice, de una u otra forma. En nuestro planeta cubre el 75% de su superficie, pero no toda el agua se encuentra en condiciones aptas para el uso humano. El 97.5% del agua es salada, el 2.5% resultante es agua dulce distribuida en lagos, ríos, arroyos y embalses; esta mínima proporción es la que podemos utilizar con más facilidad, (OMS 1988).

El agua para satisfacer distintas necesidades se transforma en un recurso. Sin embargo no todas las personas disponen de él. Esto sucede por varios motivos, entre los cuales se puede mencionar la desigual distribución natural del agua en la superficie terrestre. Esta imposibilidad lleva a situaciones de escasez, que no tiene causas exclusivamente naturales, sino que también sociales.

a. Sustancias que Provocan la Contaminación del Agua

Hay un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de diferentes maneras. Una forma es agruparlos en los siguientes grupos:

Microorganismos patógenos: son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños. Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que en el agua para beber haya 0 colonias de coliformes por 100 ml. de agua, (OMS 1988).

Desechos orgánicos: son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, 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, OD, en agua, o la DBO (Demanda Biológica de oxígeno), (OMS 1988).

Sustancias químicas inorgánicas: en este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua, (OMS 1988).

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 la

eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable, (OMS 1988).

Compuestos orgánicos: muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc., acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.

Sedimentos y materiales suspendidos: muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, ríos y puertos, (OMS 1988).

Sustancias radiactivas: isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua, (OMS 1988).

Contaminación Térmica: el agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos

6.1.3 Características de las Aguas Residuales

Las características del agua que permiten designarla como de “Buena Calidad” dependen directamente de uso al cual se destina, (Solís Cuellar 2005).

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. Las características más importantes son:

a. Características Físicas

Están relacionadas con la medición y registro de aquellas propiedades que pueden ser observadas por los sentidos organolépticos; para lo cual se hace uso de parámetros que permiten tener un juicio aceptado de la calidad del agua.

Aspecto: está relacionado con la turbidez del agua y consiste en determinaciones hechas mediante un turbidímetro.

Color: el color en el agua pueden ser de origen mineral o vegetal, causado por sustancias metálicas tales como componente de hierro, magnesio, humus, turba, taninos, alga y protozoos.

Temperatura: es un dato muy útil ya que la temperatura influye sobre las actividades biológicas, la solubilidad de gases (especialmente oxígeno) y la viscosidad, (Solís Cuellar 2005).

b. Características Químicas

Son las que permiten determinar las cantidades de material mineral y orgánico presente en el agua y que afectan su calidad.

Oxígeno Disuelto: es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, las aguas servidas generalmente carecen de oxígeno disuelto, dada la cantidad de materia orgánica, sin embargo este valor puede diferir en algunos casos debido a la relación con el ambiente y la temperatura del agua. El oxígeno disuelto es el reactivo esencial para los procesos aeróbico y cuando los organismos aeróbicos utilizan los nutrientes orgánicos, consumen al mismo tiempo el oxígeno disuelto, si no se repone el oxígeno disuelto el crecimiento aeróbico se detiene cuando se agota el oxígeno y solo pueden continuar procesos anaeróbico lentos y maloliente. La disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua es el factor que limita la capacidad de purificación del agua.

Sólidos: las aguas negras contienen sólidos en solución y suspensión en relación de 0.10% aproximadamente, las cuales de acuerdo a su origen, provienen de desechos domésticos,

industriales y pecuarios crean una transformación en su contenido biológico, físico y químico a través del tiempo, (Solís Cuellar 2005).

PH: este es un factor importante en la regulación de los procesos químicos de la digestión anaeróbica de la materia orgánica, ya que cuando el pH está en la fase ácida de la digestión esta no es satisfactoria.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): La DBO de un agua contaminada, es la cantidad de oxígeno requerido (en mg/l), para descomposición biológica de los sólidos orgánicos disueltos en condiciones aeróbicas y en un tiempo y temperatura determinada (generalmente 5 días, a 20 °C). La prueba de DBO estima el oxígeno gastado en la descomposición biológica actual de una muestra residual, y es, efectivamente, una simulación de laboratorio del proceso microbiano de auto purificación.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): el valor de DQO (mg/l) da una idea del contenido orgánico total de un residuo, sea o no biodegradable. Para dicho análisis se establecen valores de 250 para una concentración débil; 500 para una concentración media y 1,000 para una concentración fuerte y a nivel nacional según la normativa 80 mg/l.

Conductividad del agua: la conductividad es producida por los electrolitos que llevan disueltos un agua y es lógicamente, muy baja en el agua pura. Además se comprende que exista una relación entre ella y la cantidad de los electrolitos que contiene, (Solís Cuellar 2005).

6.1.4 Índice de Calidad de Agua General “ICA”

Los índices pueden generarse utilizando ciertos elementos básicos en función de los usos del agua, el “ICA”, define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener. Estos Índices son llamados de “Usos Específicos”.

El Índice de calidad de agua propuesto por Brown es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creó y diseñó

un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA).

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes siendo diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

Para la determinación del “ICA” interviene 9 parámetros, los cuales son:

- Coliformes Fecales (en NMP/100 mL)
- pH (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/ L)
- Nitratos (NO₃ en mg/L)
- Fosfatos (PO₄ en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en FAU)
- Sólidos disueltos totales (en mg/ L)
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

Para desarrollar el “ICA”, La NSF seleccionaron 142 personas quienes representaron un amplio rango a nivel local, estatal y nacional en los Estados Unidos. El proceso para el desarrollo del Índice de Calidad del Agua se llevo a cabo en las siguientes etapas:

I. La identificación de factores claves (parámetros biológicos, químicos o físicos) que pueden utilizarse como indicadores de la calidad del agua, basados en el criterio profesional colectivo de personas con conocimientos relativos al medio acuático o al foco de contaminación. Mediante una serie de cuestionarios, a cada panelista se le pregunto que considerara 35 parámetros de calidad de agua para una posible inclusión en dicho

índice. Este número se redujo finalmente a 9 parámetros, los cuales fueron mencionados anteriormente.

II. Asignación de los Pesos Relativos o Peso de importancia del Parámetro (w_i) correspondientes a los factores de contaminación en aguas. En esta fase se corre el riesgo de introducir cierto grado de subjetividad en la evaluación, pero por otro lado sugiere que es importante una asignación racional y unificada de dichos pesos de acuerdo al uso del agua y de la importancia de los parámetros en relación al riesgo que implique el aumento o disminución de su concentración. En el caso de asignaciones de Pesos Relativos se identifican cuatro fases:

- El panel de expertos procede a la generación de las ideas que determinan los Pesos Relativos, escribiéndolas en un papel.
- Recolección de las ideas generadas por los participantes en un gráfico, mediante una discusión en serie.
- Discusión de cada idea recogida por el grupo con el fin de proceder a su clarificación y evaluación.
- Votación independiente sobre la prioridad de las ideas, es decir los Pesos Relativos, la decisión del grupo se determina mediante orientación matemática. Para esto se pueden establecer varias metodologías de índices como lo son las curvas funcionales.

Estos datos se promediaron dando origen a curvas que reflejan el criterio profesional de respuestas en una escala (Subi) de 0-100.

La agregación de la información, mediante fórmulas que incluyen adiciones simples o multiplicativas.

Verificación en campo de su aplicabilidad. Esto implica la recolección de datos y su comprobación.

a. Estimación del Índice de Calidad de Agua General (ICA)

El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio.

Posteriormente al cálculo el índice de calidad de agua de tipo “General” se clasifica la calidad del agua con base al siguiente cuadro:

Cuadro 1. Clasificación del ICA propuesta de Brown

CALIDAD DEL AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		90 a 100
Buena		70 a 90
Regular		50 a 70
Mala		25 a 50
Pesíma		0 a 25

Las aguas con “ICA” mayor que 90 son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella.

Las aguas con un “ICA” de categoría “Regular” tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.

Las aguas con un “ICA” de categoría “Mala” pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.

Las aguas con un “ICA” que caen en categoría “Pésima” pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación. (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, MARN, El Salvador)

b. Evaluación Utilizando el Índice de Calidad de Agua –ICA-

En relación al valor numérico del ICA, este no representa más que una posibilidad de comparación si se es consistente en su cálculo. Con la idea de tener criterios generales, a continuación se presentan algunos lineamientos arrojados por el panel de expertos, Dinius (1987). Asociado al valor numérico del ICA se definen 6 rangos de estado de calidad del agua: (E) Excelente; (A) Aceptable; (LC) Levemente Contaminada; (C) Contaminada; (FC) Fuertemente Contaminada y (EC) Excesivamente Contaminada.

En función de esta clasificación se establecieron los criterios (ver figura 1) que a continuación se presentan, dependiendo del uso al que se destina el agua indicándose las medidas o límites aconsejables.

Es importante mencionar que dichos criterios no deben tomarse como dogma y deberán ser analizados para cada caso en particular.

Rango ICA	CRITERIOS GENERALES			
	Edo	USO: AGUA POTABLE	Edo	USO: RIEGO AGRICOLA
90	EXCELENTE	NO REQUIERE PURIFICACION PARA SU CONSUMO	EXCELENTE	NO REQUIERE DE TRATAMIENTO PARA RIEGO
80	ACEPTABLE	REQUIERE PURIFICACION MENOR	ACEPTABLE	TRATAMIENTO MENOR PARA CULTIVOS QUE REQUIEREN DE ALTA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO
70	LEVEMENTE CONTAMINADA	DUDOSO SU CONSUMO SIN PURIFICACION	LEVEMENTE CONTAMINADA	UTILIZABLE EN LA MAYORIA DE LOS CULTIVOS
50	CONTAMINADA	TRATAMIENTO DE POTABILIZACION INDISPENSABLE	CONTAMINADA	TRATAMIENTO REQUERIDO PARA LA MAYORIA DE LOS CULTIVOS
40	FUERTEMENTE CONTAMINADA	DUDOSO PARA CONSUMO	FUERTEMENTE CONTAMINADA	SOLO PARA CULTIVOS MUY RESISTENTES (FORRAJES)
30	EXCESIVAMENTE CONTAMINADA	INACEPTABLE PARA CONSUMO	EXCESIVAMENTE CONTAMINADA	INACEPTABLE PARA RIEGO
20	EXCESIVAMENTE CONTAMINADA			

FIGURA. 1. Criterios generales según el Índice de Calidad de Agua

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- Dudosa para consumo.

0-40 EC- Inaceptable para consumo.

Uso en Agricultura

90-100 E - No requiere purificación para riego.

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

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.

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.

Uso Industrial

90-100 E - No se 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 mayoría de usos.

20-30 FC- Uso restringido en actividades burdas.

0-20 EC- Inaceptable para cualquier industria.

Uso Recreativo

70-100 E - Cualquier tipo de deporte acuático.

50-70 A - Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.

40-50 LC- Dudosa para contacto con el agua.

30-40 C - Evitar contacto, sólo con lanchas.

20-30 FC- Contaminación visible, evitar cercanía

0-20 EC- Inaceptable para recreación.

Adicionalmente a los lineamientos presentados es conveniente analizar en forma individual cada una de las calificaciones de los parámetros con el objeto de establecer si el deterioro se debe a la alta presencia de nutrientes, a la falta de oxígeno, al exceso de presencia de bacterias riesgosas para la salud, etc.

Un aspecto que se considera importante, es la posible escasez de datos completos en un monitoreo, por lo que en la metodología de estimación del ICA se considera que al faltar el valor de alguno de los parámetros, su peso específico se reparte en forma proporcional entre los restantes, excluyéndolo del operador multiplicativo en el momento de estimar el ICA, (León Viscaino, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua).

6.1.5 Estudios Relacionados con la Propuesta

a. Índices de Calidad del Agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala

Se presenta un sistema indicador de la calidad del agua, que agrupa los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco unificado, como un instrumento que permite identificar el deterioro o mejora de la calidad en un cuerpo de agua. Se adapta y modifica un modelo propuesto en la literatura (Dinius, 1987), y se aplica a determinaciones de calidad del agua de la Red Nacional de Monitoreo en el sistema de la cuenca Lerma-Chapala.

El Índice de Calidad del Agua (ICA), como forma de agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores de un deterioro en calidad del agua, es una manera de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe de reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple, y durante el proceso de simplificación algo de información se sacrifica. Por otro lado si el diseño del ICA es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias, (León Viscaino, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua).

En este estudio se presenta una recopilación de los métodos para el cálculo de los ICA, y se adopta, con ciertas modificaciones, el propuesto por Dinius (1987) ampliándolo para incluir una mayor cantidad de parámetros.

Estimación de Índice de Calidad –ICA–.

El método que se consideró más adaptable a la situación de nuestro país (México) (Dinius, 1987), modificándose con la inclusión de algunos parámetros sugeridos en el estudio realizado por el I.I. de la UNAM en 1974.

La evaluación numérica del ICA, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos, se debe a Brown et al. (1973), obteniéndose a partir de una media geométrica:

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

Donde W_i son los pesos específicos asignados a cada parámetro (i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno. Q_i es la calidad del parámetro (i), en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100, PI representa la operación multiplicativa de las variables Q elevadas a la W .

Finalmente el ICA que arroja la ecuación es un número entre 0 y 100 que califica la calidad, a partir del cual y en función del uso del agua, permite estimar el nivel de

contaminación. En la figura 2 se muestran los rangos de calificación del ICA en función del uso del agua, (León Viscaino, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua).

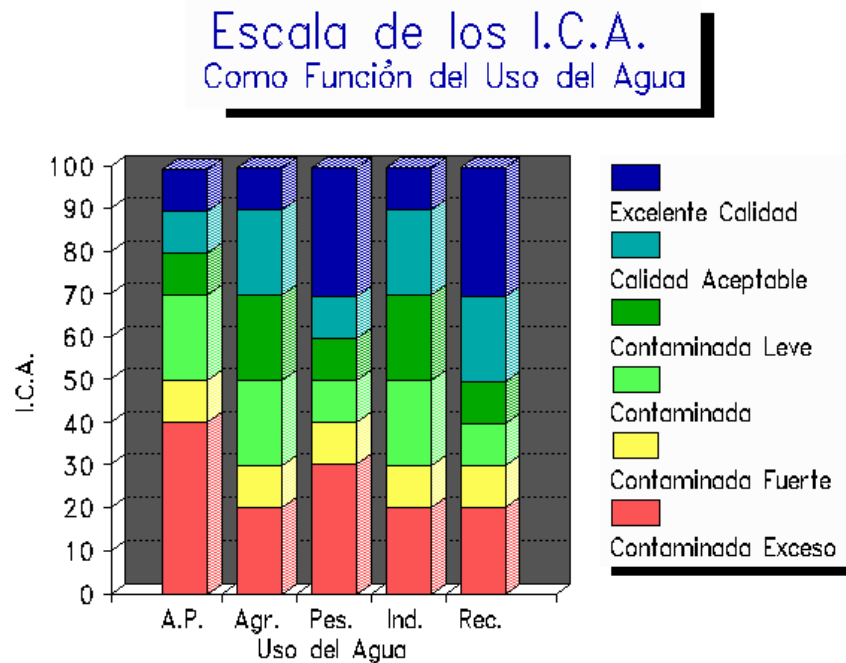


FIGURA 2. Rangos de calificación del ICA en función del uso del agua.

La siguiente cuadro muestra las unidades de los parámetros y los valores de los pesos específicos W_i considerados en la ecuación. Las gráficas de sensibilidad en donde, como función de la concentración del parámetro, se lee la calificación de la calidad Q_i se obtienen de las referencias originales, (León Viscaino, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua).

Cuadro 2. Pesos específicos de los parámetros

Parámetro	(SIMB-Unidad)	Valor de W
Oxígeno Disuelto	(OD-% Sat.)	0.103
Demanda Bioquímica Oxígeno	(DBO-mg/l)	0.096
Demanda Química de Oxígeno	(DQO-mg/l)	0.053
Grado Acidez/Alcalinidad	(pH -)	0.063

Solidos Suspendidos	(SST-mg/l)	0.033
Coliformes Totales	(ColiT-#/100 ml)	0.083
Coliformes Fecales	(ColiF-#/100 ml)	0.143
Nitratos	(NO3-mg/l)	0.053
Amonios	(NH3-mg/l)	0.043
Fosfatos	(PO4-mg/l)	0.073
Fenoles	(Fenol- μ g/l)	0.033
Diferencia Temperatura	(DT- $^{\circ}$ C)	0.043
Alcalinidad como CaCO3	(AlcT-mg/l)	0.055
Dureza como CaCO3	(DurT-mg/l)	0.058
Cloruros	(Clor-mg/l)	0.068

Aplicación del Índice de Calidad de Agua –ICA-

En la cuenca del río Lerma se cuenta con 23 estaciones de la Red Nacional de Monitoreo, de las cuales se eligieron en el tramo del río Lerma en su confluencia con el río Guanajuato:

Estación Le8 - San Guillermo, ubicada sobre el río Lerma aguas abajo de la confluencia con el río Guanajuato.

Estación Le9 - Pueblo Nuevo, ubicada sobre el río Lerma aguas arriba de la confluencia con el río Guanajuato.

Estación Gu1 - S/N, ubicada sobre el río Guanajuato aguas arriba de la confluencia con el río Lerma.

En el cuadro 3 se presentan los valores de los parámetros, las calificaciones para cada uno y el valor calculado del ICA. Previo al cálculo se extrajeron los valores medios anuales para época de estiaje (enero a junio). La figura 3 muestra los resultados en forma gráfica, y puede observarse el cambio en la calidad hacia aguas abajo (Le8), al combinarse con un cuerpo de agua menos deteriorado (Gu1), (León Viscaino, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua).

Cuadro 3. Ejemplo de aplicación del ICA en la cuenca del Lerma

Valores de parámetros/(calificación del parámetro)									PARCIAL....
Año	OD mg/l	DBO mg/l	DQO mg/l	pH -	SST mg/l	ColiT NMP/100	ColiF NMP/100	NO3 mg/l	ICA
<i>LeB - San Guillermo (Aguas Abajo de la Confluencia con el Río Guanajuato)</i>									
75		20.5 (37.6)	167 (17.3)	7.6 (92.4)	201.5 (30.9)	175 (69.1)	175 (54.6)	0.62 (100)	55.3
76		13.4 (43.6)	77 (31.8)	7.6 (92.4)	155.2 (34.8)	8,882 (41.3)	7,578 (33.6)	0.11 (100)	48.3
78			69 (34.4)	7.8 (83.5)	128.0 (48.2)			0.60 (100)	60.3
79		27.4 (34)	76 (32.2)	7.9 (79.3)	185.4 (32.1)	7,160 (42.5)	1,774 (40.5)	0.27 (100)	47.5
80		61.5 (25.6)	76 (32.2)	8.2 (68.1)	52.5 (65.3)	6,215 (43.3)	3,685 (36.9)	0.19 (100)	39.2
81		277.0 (15.1)		8.6 (55.5)	175.0 (33)	11,000 (40.2)	4,600 (35.8)		38.9
82		10.3 (47.8)	164 (17.6)	7.7 (87.8)	201.2 (31)	4,050 (45.8)	2,950 (37.9)	0.43 (100)	40.0
83		176.9 (17.7)	708 (4.6)	7.1 (100)	806.7 (16.6)	47,100 (33.2)	11,100 (32)	0.17 (100)	30.3

Es importante señalar adicionalmente, esta evaluación debe acompañarse de valores límites permisibles, tanto de los parámetros involucrados en el cálculo, como de aquellos que no lo están; por ejemplo, es posible tener un valor aceptable del ICA acompañado de concentraciones elevadas de arsénico que incluso superen el máximo permisible para la sustancia. Incluso se pueden tener valores aceptables aún excediendo los valores límite de algunos de los parámetros involucrados.

El índice de calidad del agua que se ha presentado, bajo las premisas de que debe ser útil, en un solo sistema homogéneo, debe permitir comparaciones entre varios cuerpos de agua bajo un criterio unificado y debe ser tan sencillo y representativo que aún personas no entrenadas en cuestiones científicas o expertos en el tema puedan familiarizarse con la estimación de los ICA y utilizar los resultados para evaluar su propio problema de contaminación.

Como en cualquier modelo, el presente índice simplifica y organiza la inmensa cantidad de datos de calidad en un marco homogéneo que permite comunicar y evaluar el estado del cuerpo de agua en una forma comprensible y sin una distorsión importante en la

información de calidad del agua, (León Viscaino, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua).

b. Estudio Abastecimiento de Agua Potable para la Ciudad de Chiquimula.

Este estudio determina la mejor alternativa de carácter integral que garantice el funcionamiento adecuado y eficiente de un Sistema de Abastecimiento de Agua Potable para la Ciudad de Chiquimula, dentro de un periodo de diseño de 30 años.

Actualmente existe un Sistema de Abastecimiento que está comprendido por 2 fuentes de aguas superficiales (Sistema de Abastecimiento Río el Tacó y Sistema de Abastecimiento Quebrada El Abundante) y 8 fuentes por aguas subterráneas (pozo el Cal vario, pozo San José, pozo el Canjá, pozo el Torito, pozo el Banvi, pozo Mercado nueva Terminal, pozo Palacio Municipal y pozos residenciales Chiquimula). El poblado de San Esteban, se abastece desde la Quebrada Ticanlú; la aldea Petapilla se abastece de la Quebrada El Chucte; y por último la Colonia Shusho Abajo, la cual se abastece de aguas desde un manantial termal ubicado en la inmediación de la aldea de Shusho Arriba.

El Sistema existente cuenta con una planta de potabilización con una capacidad de 80lps. Recientemente rehabilitada y puesta en funcionamiento con recursos del gobierno Japonés. Esta capacidad es insuficiente para tratar la totalidad que se está suministrando (aprox. 126lps.) en la actualidad (mayo del 2001) solo se está potabilizando un caudal de 19.3lps; es decir la planta esta funcionando a un 25% de su capacidad instalada.

c. Caracterizar el Agua de los Drenajes de Mayor Descarga en el Río San José.

Ana López en el año 2006 realizo el estudio que tiene como título: Caracterizar las aguas residuales de los drenajes de mayor descarga en el río san José, teniendo como objetivo general la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de aguas residuales de los drenajes municipales provenientes del área urbana de Chiquimula y el río tacó, obteniendo los resultados presentados a continuación:

Resultados Obtenidos

Parámetro Físicoquímico	Drenaje 3	Drenaje 4	Presa 2	Presa 3
Nitrógeno total mg/l	9.2	26.10	4.20	0.5
Fósforo total mg/l	19.5	3.08	3.96	6.30
DBO5 mg/l	276.75	123	3.9	1.65

De lo cual concluyo que las aguas del río san José no son aptas para el uso domestico y agrícola en base a los resultados obtenidos. Ya que pasan los valores establecidos para agua de uso domestico por las normas COGUANOR. Cabe mencionar que no se realizaron muestreos en distintas épocas del año, por el contrario solamente fue un solo muestreo, con lo que no se puede determinar las variaciones en el nivel de concentraciones con respecto a las variaciones climáticas.

d. Diagnóstico de Aguas Servidas sobre la Calidad del Agua del Río San José.

En el año 2001 se realizo el Diagnostico de las Agua Servidas Municipales sobre la calidad del Agua del Rio San José, en la Cabecera Departamental de Chiquimula; los resultados obtenidos mostraron que las aguas servidas de la ciudad de Chiquimula tiene crecimiento masivo de enterobacterias posiblemente por la presencia de grandes cantidades de sólido de origen orgánico, los que contribuyen al crecimiento masivo de microorganismo que debido a la utilización de oxigeno limitan este elemento y a su vez restringen la utilización del agua en procesos que conlleven el contacto directo con seres humanos. También se encontró que desde el punto de vista agronómico las aguas pueden ser benéficas por los niveles de nutrientes que tienen pero a su vez pueden tener elevadas concentraciones de sales, iones tóxicos y microorganismos que modifican las características físicas, químicas y biológicas del agua original.

6.2 MARCO REFERENCIAL

6.2.1 Municipio y la Ciudad Chiquimula

El municipio de Chiquimula se encuentra ubicado en el departamento del mismo nombre, tiene una extensión de 372 km²; donde se ubica la ciudad de Chiquimula que tiene una extensión de 7.5 km² y una población de aproximadamente 50,000 habitantes para el año 2009 (INE 2009).

La ciudad esta vivida en 7 zonas y cuenta con aproximadamente 9,400 viviendas de acuerdo a la Oficina Municipal de Planificación. Dispone de servicios básicos como agua potable, sistema de drenajes y recolección de desechos sólidos entre otros, pero como es común en los municipios de Guatemala estos servicios son deficientes y provocan un impacto sobre el medio ambiente.

La primera ciudad de Chiquimula fue fundada por los españoles en el lugar que ocupan las ruinas de la Iglesia Vieja, esta ciudad fue destruida total mente por los terremotos del 2 de junio de 1765; los habitantes después de este acontecimiento decidieron levantar la ciudad en una planicie vecina a dos ríos que surten de agua a la ciudad, el río Tacó y Shusho, donde está ubica actualmente la ciudad de Chiquimula, (Castillo, 1985).

El pueblo de Chiquimula es elevado a categoría de ciudad, el 29 de junio de 1821, concediéndole en título honorífico la Corte de España. En la primera división administrativa de la época independiente, efectuada en 1825, Guatemala queda dividida en siete departamentos, siendo Chiquimula el tercer departamento en importancia, (Castillo, 1985).

6.2.2 Red Hidrológica de la Ciudad de Chiquimula

La red hidrológica de la ciudad de Chiquimula esta comprendía por los Ríos San José que se ubica en dirección Este, el Río Taco que está ubicado en dirección Norte del Centro de la ciudad, el Río Shusho que está ubicado en dirección Sur del Centro de la ciudad, el Río Sasmó que está ubicado en dirección Sur pero que ha sido incorporado al sistema de drenajes de la ciudad y sus corrientes son irregulares la mayor parte del año abastecido únicamente por las descargas del sistema de drenajes y el río Shutaque ubicado el Este de

la ciudad y desemboca en el río San José en los límites de la ciudad de Chiquimula. (Ver Anexo 2)

6.2.3 Localización de Área de Estudios

El estudio se realizó en los Ríos Tacó, San José, Shusho y Shutaque que conforman la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula. La ciudad de Chiquimula se ubica a una altura de 423.86 m.s.n.m. Latitud 14° 47' 58", longitud 89° 32' 37", en el municipio del mismo nombre con una extensión territorial es de 372 kms.

Se establecieron 8 puntos de control, a lo largo de 20.4 km² de cauce, distribuidos de la siguiente manera: dos puntos de control en el río Tacó 4.9 km; tres puntos de río San José, 6.7 km, dos puntos de control en el riachuelo Shusho 6.6 km y un punto de control en el río Shutaque 2.2 km. Cubriendo un área de aproximadamente 7.5 km². (Anexo 2)

Este sistema hidrológico pertenece a la cuenca del río Grande, localizado en el oriente del país en los departamentos de Chiquimula y Zacapa.

6.2.4 Clima y Zona de Vida

Basados en el Sistema Holdridge, la ciudad de Chiquimula se ubica en la zona de vida Bosque seco Subtropical, en esta zona de vida las condiciones climáticas se caracterizan por días claros y soleados durante los meses que no llueve y parcialmente nublados durante la época lluviosa. La época de lluvias corresponde a los meses de junio a octubre. Las precipitaciones varían entre 500 mm a 1,000 mm, y un promedio de 855 mm. La biotemperatura media anual para esta zona oscila entre los 19 °C y 24 °C (De La Cruz 1982).

De acuerdo a los registros de la Estación Climática de CUNORI, la precipitación promedio anual es de 825 mm y la temperatura promedio es de 27.5 °C. Con mínimas de 20 °C y máximas de 39°C.

7. MARCO METODOLOGICO

7.1 Determinación del Área de Estudio

El área de estudio se determinó utilizando el Sistema de Información Geográfico del Centro Universitario de Oriente –CUNORI- con base la distribución de la red hidrología conformada por los ríos Tacó, San José, Shusho y Shutaque, al pasar por la ciudad de Chiquimula, en un área de aproximadamente 7.5 km².

Para definir los puntos de muestreo se utilizó un mapa base de la ciudad generado por el SIG, ubicando los puntos donde se tomaran las muestra de agua a lo largo del cauce de estos ríos; bajo el criterio cuando estos ingresan a la ciudad y cuando salen de ella o bien se interceptan con otro río, es decir finaliza una terminada corriente de agua superficial. De acuerdo a este criterio la distancia lineal de la red hidrológica es de aproximadamente 20.4 km, distribuidos de la siguiente manera: río Tacó 4.9 km; río San José, 6.7 km, riachuelo Shusho 6.6 km y Shutaque 2.2 km. (ver anexo 2)

7.2 Establecimiento de los Puntos de Control

Un punto de control es un lugar físico ubicado a los largo del cauce del río donde se tomaran las muestras de agua para su análisis.

Se establecieron un total de 8 puntos de control sobre el cauce de la red hidrológica que pasa por la ciudad de Chiquimula, ubicando 2 puntos en cada uno de los ríos; un punto de control cuando el río ingresa a la ciudad y otro cuando sale de esta o bien se intercepta con otro río como el caso de los Río Tacó. A excepción de río Shutaque donde se estableció un punto de control previo a la desembocadura de este en el río San José.

En primer punto en cada río permitió determinar la calidad del agua al momento de ingresar a la ciudad y el segundo punto determinar la calidad del agua después de pasar por la ciudad y recibir la descarga de aguas servidas.

Para la ubicación e identificación cada punto de control en el campo se utilizaron mojones naturales o artificiales debidamente georeferenciados, para ubicarlos con

facilidad durante en desarrollo del estudio y estudios posteriores. Los puntos de control establecidos se distribuyeron de la manera siguiente: (ver anexo 2)

- Dos Puntos de Control en el Río Tacó
- Tres Puntos de Control en el Río San José
- Dos Puntos de Control en el Riachuelo Shusho
- Un Punto de Control en el Río Shutaque

7.3 Técnicas de Recolección de Datos y Muestreo

En cada Punto de Control establecidos se tomaron muestras de agua de acuerdo a las recomendaciones de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) y por la Asociación de Salud Pública Americana y Asociación de trabajos del Agua de los Estados Unidos (APHA, AWWA); para determinar el INDICE DE CALIDAD DE AGUA.

Para el análisis fisicoquímico se recolectaron muestras simples en botellas plásticas de 1 litro, las cuales fueron previamente esterilizadas para evitar cualquier contaminación de las muestras; posteriormente fueron identificadas y almacenadas en una hielera a una temperatura de aproximadamente 4 °C para el transporte al laboratorio.

Para el análisis microbiológico se recolectaron las muestras de agua en recipientes herméticos de 150 ml, esterilizados y enjuagados con agua destilada para evitar cualquier alteración de la muestra, teniendo cuidado de dejar un espacio de aire para facilitar la agitación de la misma. Posteriormente se identificaron y almacenaron en una hielera a una temperatura de aproximadamente 4 °C, para ser transportadas al laboratorio en un espacio de tiempo recomendable de 6 horas hasta un máximo de 24 horas entre la recolección de la muestra y su análisis.

7.4 Estimación del INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)

Para determinar el Índice de Calidad de Agua –ICA-, se midieron 9 parámetros de acuerdo a la propuesta de Brown, los cuales son:

- Coliformes Fecales (en NMP/100 ml)
- pH (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO 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)

Estos parámetros que se midieron a nivel de campo: pH, Oxígeno Disuelto y Temperatura en °C y de laboratorio el resto, en cada uno de los 8 puntos de control establecidos a lo largo del cauce de la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula.

a. Cálculo del Índice de Calidad de Agua General

El índice de Brown o Índice de Calidad de Agua General, se puede determinar utilizando una suma lineal ponderada de los subíndices (ICAa) o una función ponderada multiplicativa (ICAm), para este estudio se utilizó 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, reflejando con mayor precisión un cambio de calidad.

Que se expresa matemáticamente de la forma siguiente:

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

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 terminar el valor del Índice de Calidad de Agua se utilizaron las series de graficas que se muestran a continuación para calcular los subíndices (Sub_i) y los pesos relativos (w_i) de cada uno de los 9 parámetros medidos de acuerdo al cuadro 4; que deberán ser sustituidos en la ecuación anterior.

Pesos de los diversos parámetros.

Cuadro 4. Peso relativo para cada parámetro del –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	Tubidez	0.08
8	Solidos disueltos Totales	0.08
9	Oxigeno Disuelto	0.17

Pasos a seguir para calcular los Subindices de Calidad de Agua General:

- Coliformes Fecales: si son mayores de 100,000 bact/100 ml el Sub_1 es igual a 3; si el valor es menor a 100,000 Bact/100 ml, se busca el valor en (X) de la grafica 1 y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el Sub_1 de Coliformes Fecales, luego se procede a elevarlo al peso w_1 .
- pH: si es igual o menor de 2 el Sub_2 es igual a 2, si el valor es mayor o igual a 10 el Sub_2 es igual a 3. Si el valor del pH está entre 2 y 10 se busca el valor en (X)

en grafica 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 .

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): si es mayor de 30 mg/l el Sub₃ es igual a 2, si la DBO es menor de 30 mg/l se busca el valor en el eje de (X) en la grafica 3 y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub₃) de DBO y se procede a elevarlo al peso w_3 .
- Nitratos: si el mayor de 100 mg/l el (Sub₄) es igual a 2, si los nitratos son menores de 100 mg/l se busca el valor en el eje (X) en la gráfica 4, y se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub₄) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso w_4 .
- Fosfatos: si es mayor de 10 mg/l el (Sub₅) es igual a 5, si el fosfatos es menor de 10mg/l se busca el valor en el eje de (X) en la grafica 5, y se interpola al valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub₅) y se procede a elevarlo al peso w_5 .
- Temperatura: para este parámetro se calcula primero la diferencia entre la $T^{\circ}_{\text{ambiente}}$ y la $T^{\circ}_{\text{muestra}}$ y con el valor obtenido se procede. Si el valor de la diferencia es mayor de 15° C el (Sub₆) es igual a 9, si es menor de 15°C se busca el valor en el eje (X) y en la gráfica 6 y se interpola al valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub₆) de temperatura y se procede a elevarlo al peso w_6 .
- Turbidez: si es mayor de 100 NTU el (Sub₇) es igual a 5, si la turbidez es menor de 100 NTU, se busca el valor en el eje (X) y se interpola en el eje (Y) de la gráfica 7, el valor encontrado es el (Sub₇) de turbidez y se procede a llevarlo al peso w_7 .
- Sólidos disueltos Totales: si son mayores de 500 mg/l el (Sub₈) es igual a 3, si es menor de 500 mg/l, se busca el valor en el eje de (X) en el gráfica 8, se interpola

en el eje de la (Y), el valor encontrado es el (Sub₈) de Sólidos disueltos Totales y se procede a elevarlo al peso w₈.

- Oxígeno Disuelto: hay que calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua, identificando el valor de saturación de OD según la temperatura del agua en el cuadro 5.

Cuadro 5. 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

Si el % de saturación de OD es mayor de 140% el (Sub₉) es igual a 47, si el valor es menor de 140% la saturación de OD se busca el valor en el eje (X) en la gráfica 9, se interpola el valor en el eje (Y), el valor encontrado es el (Sub₉) de Oxígeno Disuelto y se procede elevarlo el peso w₉.

Los valores obtenidos se incorporan a la siguiente tabla, para calcular el valor de Índice de Calidad de Agua para cada punto de control.

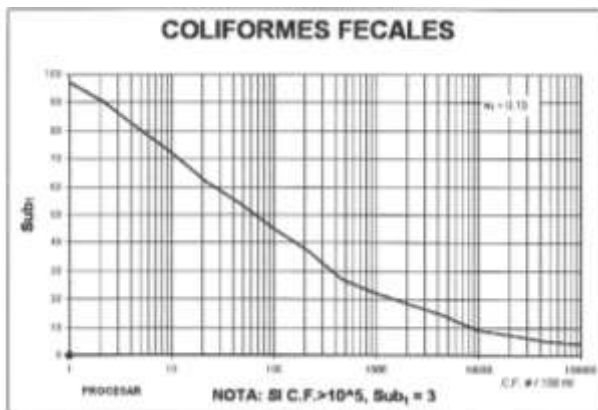
Cuadro 6. Cálculo del Índice de Calidad de Agua

	Parámetros	Valor	Unidades	Sub _i	Wi	Total
1	Coliformes Fecales		NMP/100 ml		0.15	
2	pH		Unidades pH		0.12	
3	DBO ₅		mg/l		0.10	
4	Nitratos		mg/l		0.10	
5	Fosfatos		mg/l		0.10	
6	Temperatura		°C		0.10	
7	Tubidez		FAU		0.08	
8	Solidos disueltos Totales		mg/l		0.08	
9	Oxigeno Disuelto		% saturación		0.17	
Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-					Suma	

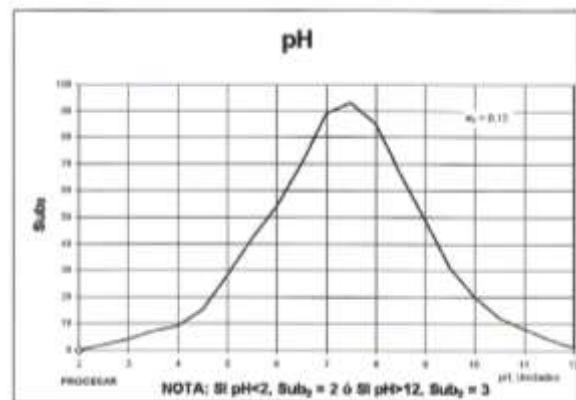
Después del cálculo del Índice de Calidad de Agua de tipo “General”, se clasificó la calidad del agua con base al siguiente cuadro:

Cuadro 7. Clasificación de la “ICA” propuesta por Brown (1970)

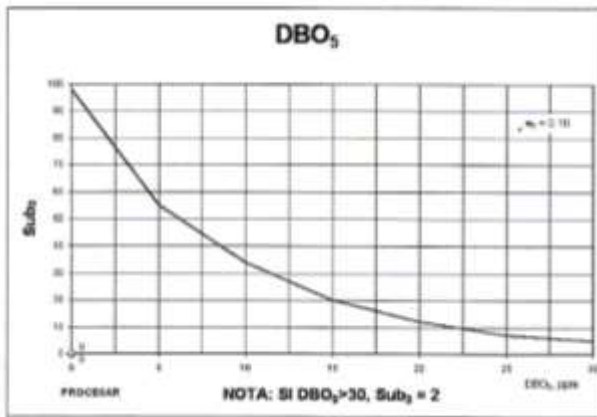
CALIDAD DEL AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		90 a 100
Buena		70 a 90
Regular		50 a 70
Mala		25 a 50
Pesíma		0 a 25



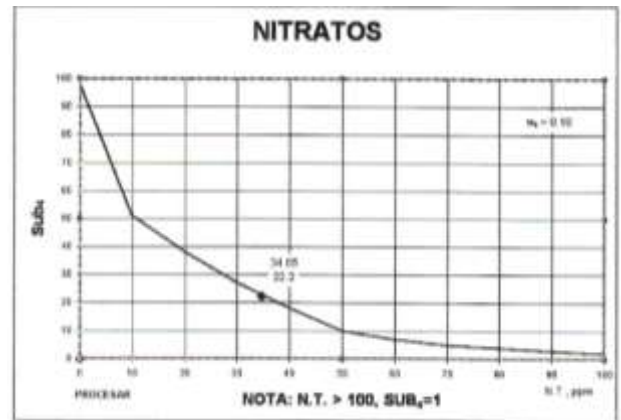
GRAFICA 1. Valoración de la Calidad de Agua en Función de Coliformes Fecales



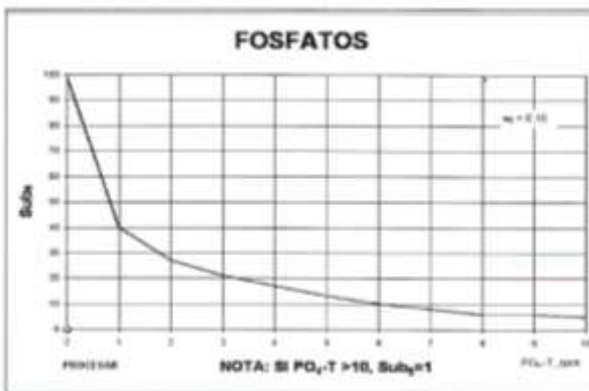
GRAFICA 2. Valoración de la Calidad de Agua en Función de pH



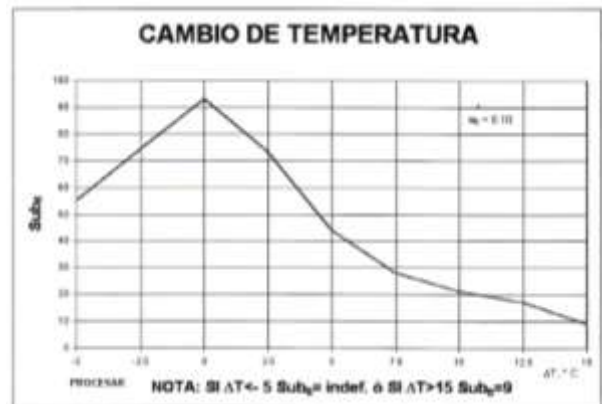
GRAFICA 3. Valoración de la Calidad de Agua en Función de la DBO₅



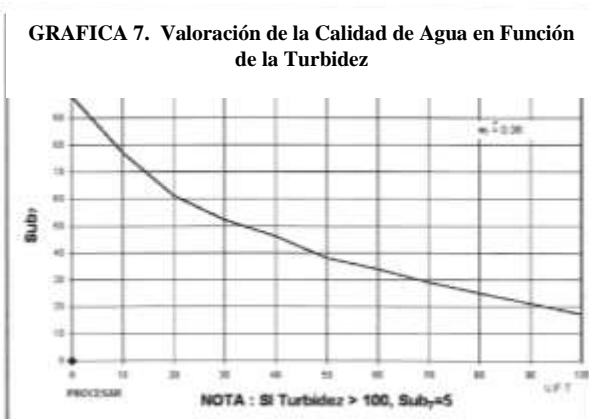
GRAFICA 4. Valoración de la Calidad de Agua en Función del Nitrato



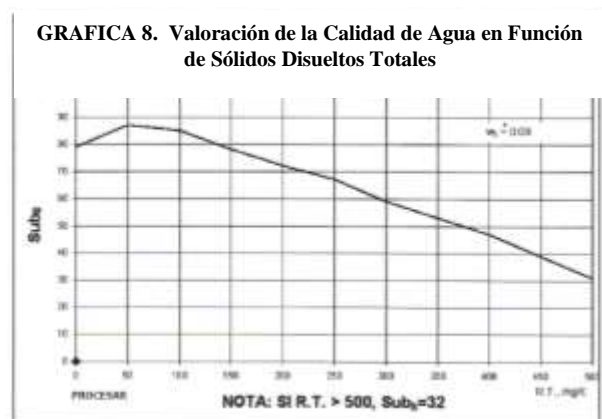
GRAFICA 5. Valoración de la Calidad de Agua en Función del Fósforo



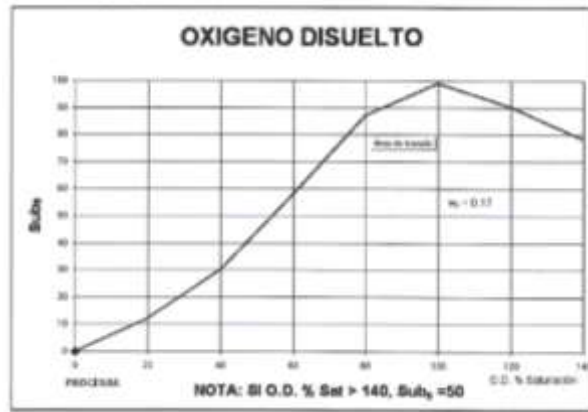
GRAFICA 6. Valoración de la Calidad de Agua en Función de la Temperatura



GRAFICA 7. Valoración de la Calidad de Agua en Función de la Turbidez



GRAFICA 8. Valoración de la Calidad de Agua en Función de Sólidos Disueltos Totales



GRAFICA 9. Valoración de la Calidad de Agua en Función del % de Saturación de Oxígeno Disuelto

7.5 Periodo de Control

El periodo de toma de datos y muestreo en los Puntos de Control, fue de 5 meses comprendidos en los meses del mes de mayo a septiembre de 2009, realizando un muestreo el mes de mayo, julio, agosto y septiembre para un total de 4 monitoreos.

7.6 Distribución de los Puntos de Descarga del Sistema de Drenaje de la Ciudad de Chiquimula.

El sistema de drenaje de la ciudad de Chiquimula, es un sistema combinado porque en él se vierten aguas negras, grises y pluviales. Dentro de este sistema existen puntos de descarga principales y secundarios.

Puntos de Descarga Principales: que vierten un caudal permanente de aguas servidas a los ríos.

Puntos de Descarga Secundarios: que recolectan las aguas servidas de un grupo de casas o viviendas individuales que son vertidas directamente en la corriente de los ríos.

Se ubicó y georeferenció utilizando GPS, los principales puntos de descarga del sistema de drenaje de la ciudad Chiquimula en los ríos que conforman la red hidrológica (Río Tacó, San José, Shusho). Para lo cual se realizaron recorridos a lo largo de 18.2 kms que corresponde al cauce de estos al pasar por la ciudad.

Posteriormente con el apoyo del Sistema de Información Geográfico del CUNORI, se representó en un mapa base el patrón de distribución de los principales puntos de descarga del sistema de drenajes de la ciudad de Chiquimula. Así mismo se elaboraron mapas del Índice de Calidad del Agua -ICA- de acuerdo a criterios generales de uso.

7.7 Lineamientos para el Manejo de las Aguas Servidas en la Red Hidrológica de la Ciudad de Chiquimula.

Se plantean lineamientos para el manejo de las aguas servidas que se descargan sobre la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula, mediante la elaboración de modelos que permitan el manejo de las aguas servidas de la ciudad de Chiquimula y la gestión del recurso hídrico en la red hidrológica conformada por los ríos San José, Tacó, Shusho y Shutaque.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Establecimiento de Puntos de Control en la Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula.

Se establecieron 8 Puntos de Control, en la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula, conformado por los ríos: Río Taco, Río San José, Río Shusho, también en este estudio se considero el Río Shutaque que influencia sobre esta porque desemboca en el río San José en los límites de la ciudad. Inicialmente se contemplo el monitoreo del riachuelo Sasmó, pero actualmente el cauce de este es parte de la red de drenajes de la ciudad de Chiquimula, además este riachuelo tiene una corriente natural efímera y la corriente que posee de forma permanente está constituida por aguas servidas que desembocan en el Río San José; por lo tanto las agua servidas que conduce el cauce del riachuelo Sasmó tiene influencia sobre la calidad del agua del río San José.

En el Río Tacó, se establecieron dos puntos de control: el primero se estableció previo al ingreso del agua en la presa de derivación que abastece a la ciudad de Chiquimula; el segundo punto de control se estableció en la desembocadura del Río Tacó sobre el Río San José cuando este río sale de la ciudad de Chiquimula.

En el Río San José, se establecieron tres puntos de control: el primero se ubico a 500 metros del Pozo San José Uno, previo al ingreso de este a la Ciudad de Chiquimula; el segundo punto de control se ubico a 100 metros de la desembocadura del riachuelo Sasmó con corresponde a la última descarga principal de aguas servidas de la ciudad sobre el Río San José. El tercer punto se estableció en el puente que conduce a la aldea El Sillón, con el propósito de conocer el Incide de Calidad de Agua en este punto para determinar la capacidad de reciliencia que tiene esta corriente superficial.

En el Río Shusho, se establecieron dos puntos de control: el primero se ubico a 100 metros del puente sobre El Río Shusho, previo a que el río ingrese a la ciudad; y el segundo punto se estableció en la desembocadura de este río sobre el Río San José.

En el Río Shutaque, se estableció únicamente un punto de control previo a la desembocadura de este sobre el Río San José, con el objetivo de determinar el Índice de

Calidad del Agua (ICA) de este río y así conocer la influencia de éste sobre el Río San José. (Ver Figura 3)

Los ocho puntos de control ubicados se georeferenciaron utilizando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), como se muestra en el cuadro 8 y la figura 3.

Cuadro 8. Punto de Control Establecidos en la Red Hidrológica de la Ciudad de Chiquimula.

Río	Puntos de Control	Coordenadas UTM X, Y	
Taco	Tacó 1	223894	1636927
	Tacó 2	227442	1636710
Río San José	San José 1	225708	1634156
	San José 2	228227	1638333
	San José 3	229345	1640315
Río ShuSho	Shusho 1	224080	1640175
	Shusho 2	229086	1640650
Río Shutaque	Shutaque 1	227848	1636376

Fuente: Elaboración Propia 2009.

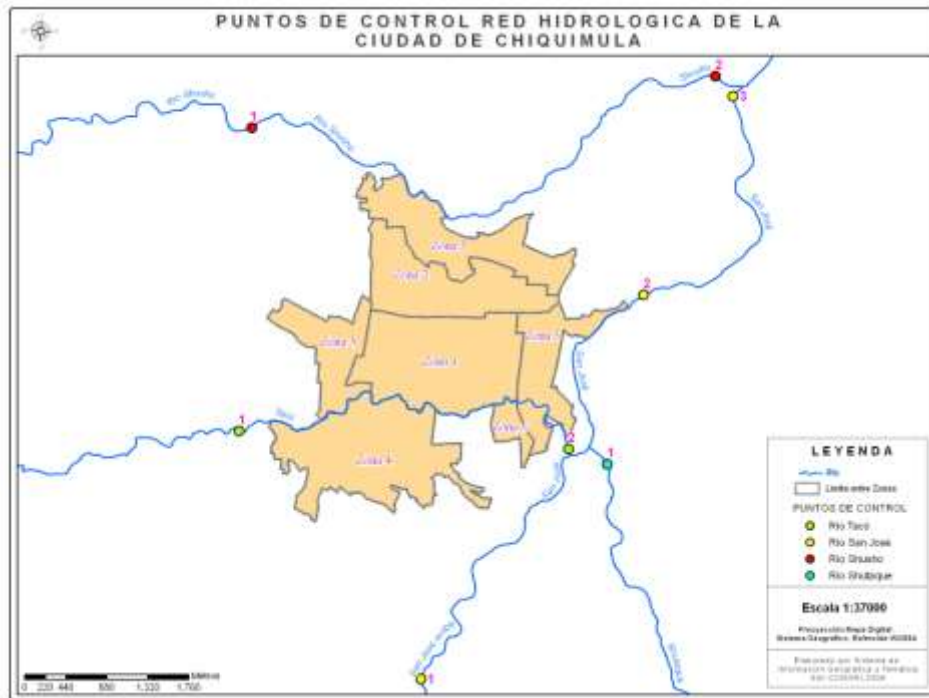


FIGURA 3. Mapa de la Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula, donde se muestra la ubicación de puntos de control.

8.2 Valores de los Parámetros del Índice de Calidad de Agua –ICA- en la Red Hidrológica de la Ciudad de Chiquimula.

De acuerdo al estudio realizado se monitorearon por espacio de 5 meses 9 parámetros que conforman el Índice de Calidad de Agua General –ICA- (Coliformes Fecales, pH, Demanda Biológica de Oxígeno, Nitratos, Fosfatos, Temperatura, Turbidez, Sólidos Disueltos Totales y Oxígeno Disuelto), para ello se llevaron a cabo 4 muestreos durante los meses de Mayo, Julio, Agosto y Septiembre, dichos muestreos se realizaron durante la segunda semana de los meses antes indicados. Para ello se determinaron parámetros insitu y a nivel laboratorio, los parámetros medios insitu fueron: pH, Temperatura y Oxígeno Disuelto; y los parámetros determinados a nivel de laboratorio: Coliformes Fecales, Demanda Biológica de Oxígeno, Nitratos, Fosfatos, Turbidez y Sólidos Disueltos Totales. Para ello se colectaron muestras simples de agua en cada punto de control en los ríos bajo estudio de la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula.

De acuerdo a las mediciones y análisis de agua realizados en cada uno de los puntos de control se obtuvieron los siguientes resultados; en cada uno de los ríos objeto de estudio:

8.2.1. Río Tacó

En el Río Tacó como se indicó anteriormente se establecieron dos puntos de control, el primer punto de control se ubicó previo al ingreso de la presa de derivación y el segundo en la desembocadura de este con el río San José, los resultados obtenidos producto de los cuatro monitores realizados se muestran en la cuadro 9, donde se puede observar la presencia de Coliformes Fecales y un incremento significativo en el número promedio entre el punto de control 1 (311 NMP/100 ml) y 2 (2256 NMP/100 ml); el pH promedio del agua en los dos punto de control es alcalino, la demanda biológica de oxígeno DBO₅ promedio muestra un incremento en los valores obtenidos en el punto de control 1 y 2; los niveles promedio de nitratos tienen un incremento significativo entre el primero y segundo punto de control por la descarga de aguas servidas en el cauce del río; los niveles de fosfatos se incrementan de menos de 1 ml/l en el primer punto de control a mas de 3 ml/l en el segundo punto; la diferencia de temperatura promedio del agua tiene un

incremento de 1.23 grados centígrado, la turbidez promedio muestra un incremento de 32.35 NTU (Unidades de Turbidez Nefelométricas) entre el primero y segundo punto de control; los sólidos disueltos totales tiene un incremento en la concentración de 183 mg/l entre el primer punto y segundo punto de control; el oxígeno disuelto disminuye en un 56.65% entre los dos puntos de control. Estos resultados muestran el impacto que tienen las aguas servidas sobre la calidad del agua del río Tacó.

Cuadro 9. Resultados de los 9 Parámetros en los Dos Puntos de Control establecidos en el Río Tacó, de la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula.

Punto de Control 1							
-Ingreso del Río a la Ciudad de Chiquimula-							
Parámetros		Unidades	Monitoreo 1 Mayo	Monitoreo 2 Julio	Monitoreo 3 Agosto	Monitoreo 4 Septiembre	Promedio
1	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	110	382	288	463	311
2	pH	Unidades pH	8.48	8.58	8.46	8.69	8.55
3	DBO ₅	mg/l	0.24	1.68	0.69	0.705	0.83
4	Nitratos	mg/l	2.7	3.6	2.7	5	3.50
5	Fosfatos	mg/l	0.36	0.45	0.9	1	0.68
6	Temperatura	°C	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
7	Turbidez	NTU	19.2	62	46	67	48.55
8	Sólidos disueltos Totales	mg/l	346	372.5	340	320	344.62
9	Oxígeno Disuelto	% saturación	101.4	99.1	100.8	118.6	104.98
Punto de Control 2							
-Salida del Río de la Ciudad de Chiquimula-							
Parámetros		Unidades	Monitoreo 1 Mayo	Monitoreo 2 Julio	Monitoreo 3 Agosto	Monitoreo 4 Septiembre	Promedio
1	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1680	2952	2316	2074	2256
2	pH	Unidades pH	7.87	8.06	8.89	8.2	8.26
3	DBO ₅	mg/l	8.16	8.22	5.79	8.55	7.68
4	Nitratos	mg/l	50.1	15.5	7.3	10.2	20.78
5	Fosfatos	mg/l	6.85	1.55	4.05	1.22	3.42
6	Temperatura	°C	1.45	4.94	1.75	2.17	2.58
7	Turbidez	NTU	75.3	78.3	58	112	80.90
8	Sólidos disueltos Totales	mg/l	734	477.5	502.5	400	528.50
9	Oxígeno Disuelto	% saturación	35.2	72	39.1	47	48.33

Fuente: Elaboración Propia 2009.

8.2.2 Río San José

En el río San José se establecieron tres puntos de control, el primer punto se estableció previo al ingreso del río a la ciudad de Chiquimula, el segundo punto en la parte baja de la desembocadura del riachuelo Sasmó que corresponde a la última descarga principal de

aguas servidas. Se determino pertinente establecer un tercer punto de control sobre el Río San José para conocer la capacidad de resiliencia que tiene este río y poder determinar la calidad del agua después de un recorrido de 3.2 km sobre el cauce.

Los resultados obtenidos en los cuatro monitoreos se muestran en el cuadro 10, donde se observa que los resultados muestra la presencia de Coliformes Fecales y un incremento en la concentración 771 colonias por 100 lm de agua entre el punto de control 1 y 2, y posteriormente disminuyen la concentración en el punto de control 3 en 519 unidades en promedio; el pH no sufre variaciones significativas manteniéndose alcalino durante el trayecto monitoreado; la demanda biológica de oxígeno DBO₅ se incrementa en 5.61 ml/l del punto de control 1 al 2 y posteriormente disminuye en 4.51 ml/l en el punto de control 3; los niveles promedio de nitratos tiene un leve incremento de 0.88 ml/l, pero posteriormente disminuye su concentración a 7.93 ml/l; los niveles de fosfatos promedio tiene un incremento en su concentración de 0.51 ml/l entre el punto de control 1 y 2 y posteriormente en el punto de control 3 disminuyen su concentración en 0.31 ml/l; la diferencia de temperatura promedio en el agua tiene un incremento de 1.38 grados centígrados y posteriormente en el punto de control 3 disminuye en 0.98 grados centígrados; la turbidez se ve incrementada ligeramente en 1.29 NTU y posteriormente en el punto de control 3 disminuye en 28.46 NTU; los sólidos disueltos totales incrementan su concentración en 295.87 ml/l entre el punto de control 1 y 2; el oxígeno disuelto disminuye su concentración entre el punto de control 1 y 2 en 45.44 %, para posteriormente incrementarse la concentración de oxígeno disuelto en 53.14 %. De acuerdo a los resultados la descarga de aguas residuales tiene un impacto sobre la calidad del agua del río San José, sin embargo la capacidad de recuperación es alta al observarse una disminución en la concentraciones de coliformes fecales, nitratos, fosfatos y sólidos disueltos totales y incremento en la concentración de oxígeno entre el punto de control 2 y 3.

Cuadro 10. Resultados de los 9 Parámetros en los Tres Puntos de Control establecidos en el Río San José, de la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula.

Punto de Control 1							
-Ingreso del Río a la Ciudad de Chiquimula-							
Parámetros		Unidades	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Promedio
			Mayo	Julio	Agosto	Septiembre	
1	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	420	5	470	220	279
2	pH	Unidades pH	8.44	8.8	8.16	8.45	8.46
3	DBO ₅	mg/l	1.49	1.89	1.32	1.14	1.46
4	Nitratos	mg/l	5.7	7.4	14	10.7	9.45
5	Fosfatos	mg/l	0.68	0.64	1.03	0.74	0.77
6	Temperatura	°C	1	0.9	1.61	2.37	1.47
7	Tubidez	NTU	104	19	86	26.4	58.85
8	Solidos disueltos Totales	mg/l	466	345	360	315	371.50
9	Oxígeno Disuelto	% saturación	111.9	122.2	100.5	134.6	117.30
Punto de Control 2							
-Salida del Río de la Ciudad de Chiquimula-							
Parámetros		Unidades	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Promedio
			Mayo	Julio	Agosto	Septiembre	
1	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1400	846	1123	840	1052
2	pH	Unidades pH	8.1	8.29	8.45	8.18	8.26
3	DBO ₅	mg/l	10.76	5.03	4.52	7.98	7.07
4	Nitratos	mg/l	14	5.8	9.5	12	10.33
5	Fosfatos	mg/l	2.49	0.75	1.01	0.87	1.28
6	Temperatura	°C	1.14	5.62	1.62	3.07	2.86
7	Tubidez	NTU	56.35	22.2	129	33	60.14
8	Solidos disueltos Totales	mg/l	492	355	1440	382.5	667.37
9	Oxígeno Disuelto	% saturación	51.8	70.02	87.6	78	71.86
Punto de Control 3							
-Previo a Descembocadura del Río Shusho-							
Parámetros		Unidades	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Promedio
			Mayo	Julio	Agosto	Septiembre	
1	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	714	418	566	425	531
2	pH	Unidades pH	8.21	8.18	8.07	8.11	8.14
3	DBO ₅	mg/l	5.33	2.30	1.77	2.28	2.92
4	Nitratos	mg/l	7	4.2	11.1	9.4	7.93
5	Fosfatos	mg/l	1.4	0.54	1.24	0.71	0.97
6	Temperatura	°C	1.39	2.95	1.96	1.2	1.88
7	Tubidez	NTU	27.5	14.2	54	31	31.68
8	Solidos disueltos Totales	mg/l	348	350	330	332.5	340.12
9	Oxígeno Disuelto	% saturación	112.7	112.5	97.8	105	107.00

Fuente: Elaboración Propia 2009.

8.2.3 Río Shusho

En el río Shusho se establecieron dos puntos de control, el primero antes que el río ingrese la ciudad a 100 metros del puente del “Shusho”, y el segundo en la desembocadura de este con el río San José.

Los resultados obtenidos en cada uno de los parámetros se muestran en el cuadro 11, donde se observa que existe la presencia de Coliformes Fecales con un incremento en la concentración en el número de colonia de 1,538 por 100 lm, entre el punto de control 1 y 2; el pH el agua no sufre variaciones significativas entre el punto de control 1 y 2; la demanda biológica de oxígeno DBO₅ sufre un ligero incremento de 0.45 mg/l entre el primer y segundo punto de control; los niveles promedio de nitratos muestran un incremento en su concentración de 1.04 mg/l entre los puntos de control; los niveles de fosfatos no sufren cambios significativos solo un incremento de 0.05 mg/l; la temperatura se ve incrementada en 0.53 grados centígrados; la turbidez entre los dos puntos de control sufre un incremento de 38.8 NTU; los sólidos disueltos totales aumenta su concentración promedio en 27.75 mg/l entre primero y segundo punto de control; el oxígeno disuelto sufre un cambio en su concentración 9.42% entre los dos puntos de control.

De acuerdo a los resultados esta corriente superficial es la que menos variaciones presenta en ocho de los nueve parámetros evaluados, aunque la presencia de coliformes fecales si muestra una variación alta. Esto se debe a que este río Shusho no recibe ninguna descarga principal de aguas servidas de la ciudad de Chiquimula y las descargas que recibe provienen de drenajes secundarios, pero el crecimiento urbano de la ciudad hacia el norte pone en riesgo a este río por la amenaza de que las nuevas urbanizaciones descarguen las agua servidas sobre el cauce del río.

Cuadro 11. Resultados de los 9 Parámetros en los Dos Puntos de Control establecidos en el Río Shusho, de la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula.

Punto de Control 1 -Ingreso del Río a la Ciudad de Chiquimula-							
Parámetros		Unidades	Monitoreo 1 Mayo	Monitoreo 2 Julio	Monitoreo 3 Agosto	Monitoreo 4 Septiembre	Promedio
1	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	168	456	324	2950	975
2	pH	Unidades pH	8.48	8.4	8.61	8.35	8.46
3	DBO ₅	mg/l	1.15	1.17	0.57	1.41	1.07
4	Nitratos	mg/l	2.06	5	3.8	7.3	4.54
5	Fosfatos	mg/l	0.67	0.47	0.63	0.63	0.60
6	Temperatura	°C	1.2	1.2	1.2	1.2	1.20
7	Turbidez	NTU	5.68	40.7	74	557	169.35
8	Sólidos disueltos Totales	mg/l	312	332.5	372.5	545	390.50
9	Oxígeno Disuelto	% saturación	109.6	99.5	102.4	116.4	106.98
Punto de Control 2 -Salida del Río de la Ciudad de Chiquimula-							
Parámetros		Unidades	Monitoreo 1 Mayo	Monitoreo 2 Julio	Monitoreo 3 Agosto	Monitoreo 4 Septiembre	Promedio
1	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	490	976	744	7840	2513
2	pH	Unidades pH	8.75	8.54	8.61	8.34	8.56
3	DBO ₅	mg/l	1.51	2.00	0.97	1.62	1.52
4	Nitratos	mg/l	3.2	4	4.6	10.53	5.58
5	Fosfatos	mg/l	0.6	0.53	0.74	0.72	0.65
6	Temperatura	°C	1.3	3.76	1.07	0.78	1.73
7	Turbidez	NTU	7.7	14.1	93	718	208.20
8	Sólidos disueltos Totales	mg/l	338	345	385	605	418.25
9	Oxígeno Disuelto	% saturación	141.6	90.2	116.4	117.4	116.40

Fuente: Elaboración Propia 2009.

8.2.4 Río Shutaque

En el río Shutaque se estableció únicamente un punto de control, previo a la desembocadura de este en el río San José, con el propósito de conocer la calidad del agua y su influencia sobre el río San José; los resultados se muestran en cuadro 12.

De acuerdo a los resultados de campo y laboratorio, este río tiene presencia de coliformes fecales en una concentración promedio de 495 colonias por 100 ml de agua, el pH es alcalino, con una demanda biológica de oxígeno DBO₅ promedio de 0.87 mg/l, con presencia de nitratos en una concentración de 8.15 mg/l, y 0.84 mg/l de fosfatos, con una diferencia de temperatura promedio de 2 grados centígrados, la turbidez es de 27.5 NTU

en promedio, una concentración promedio de sólidos disueltos totales de 242 mg/l y una concentración de oxígeno disuelto de 113 %. De acuerdo a estos resultados la calidad del agua en este punto de control está influenciada por el número de colonias de coliformes fecales, la presencia de nitratos y la concentración de sólidos disueltos totales, en términos generales la calidad del agua en este punto es buena y contribuye de forma significativa a diluir la contaminación que se provoca sobre el río San José.

Cuadro 12. Resultados de los 9 Parámetros en el Punto de Control establecido en el río

Punto de Control 1 -Previo a la Descembocadura en el Río San José-							
Parámetros	Unidades	Monitoreo 1 Mayo	Monitoreo 2 Julio	Monitoreo 3 Agosto	Monitoreo 4 Septiembre	Promedio	
1	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	350	6	178	1445	495
2	pH	Unidades pH	8.6	8.61	8.5	8.45	8.54
3	DBO ₅	mg/l	0.95	0.91	0.92	0.69	0.87
4	Nitratos	mg/l	4.4	4.1	12	12.1	8.15
5	Fosfatos	mg/l	1.62	0.28	0.56	0.88	0.84
6	Temperatura	°C	1.6	2.55	1.73	2.1	2.00
7	Turbidez	NTU	17.04	6.8	41	45.5	27.59
8	Sólidos disueltos Totales	mg/l	264	232.5	222.5	250	242.25
9	Oxígeno Disuelto	% saturación	112.7	112.3	107.7	119.5	113.05

Shutaque, de la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula.

Fuente: Elaboración Propia 2009.

8.3 Índice de Calidad de Agua –ICA- de la Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula.

El Índice de Calidad de Agua –ICA- se estimó utilizando los valores de los nueve parámetros: Coliformes Fecales, pH, Demanda Biológica de Oxígeno DBO₅, Nitratos, Fosfatos, Temperatura, Turbidez, Sólidos Disueltos Totales y Oxígeno Disuelto en % de Saturación; que se obtuvieron en cada uno de los cuatro monitores realizados, el ICA se estimó para cada monitoreo realizado y posteriormente se obtuvo un promedio de los cuatro monitoreos en cada punto de control de los ríos Tacó, San José, Shusho y Shutaque en la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula, los índices de calidad de agua para cada uno de los puntos se presenta en el cuadro 13.

Cuadro 13. Índice de Calidad de Agua en los Puntos de Control de la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula, para cada uno de los monitoreos realizados.

Río	Punto de Control	Índice de Calidad de Agua -ICA-				Promedio -ICA-
		Monitoreo 1 Mayo	Monitoreo 2 Julio	Monitoreo 3 Agosto	Monitoreo 4 Septiembre	
Río Tacó	Río Tacó 1	73	69	72	64	69
	Río Tacó 2	39	45	46	43	44
Río San José	Río San José 1	63	72	62	64	65
	Río San José 2	45	55	57	57	54
	Río San José 3	61	69	61	67	64
Río Shusho	Río Shusho 1	74	70	71	59	69
	Río Shusho 2	64	64	62	57	62
Río Shutaque	Río Shutaque 1	64	80	68	61	68

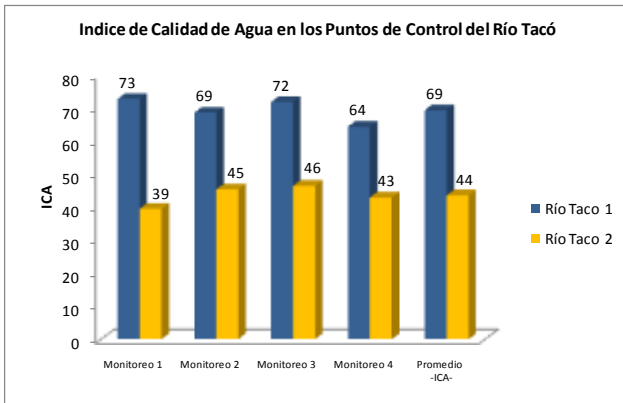
Fuente: Elaboración Propia 2009.

El río Tacó es el que menor Índice de Calidad de Agua –ICA- presenta en el Punto de Control 2, que corresponde al punto después de que el río pasa por la ciudad de Chiquimula y a recibido la descarga de aguas servidas (Gráfica 10). Otro río que presenta un menor Índice de Calidad de Agua es el río San José en el Punto de Control 2 que corresponde al punto después que este a ha recibido la ultima descarga de aguas servidas de la ciudad de Chiquimula, sin embargo después de 3 km de recorrido del agua, el Índice de Calidad de Agua se incrementa y mejora la calidad producto del recorrido de esta por el cauce del río donde se oxigena, las coliformes fecales disminuyen su concentración por la exposición al sol y la demanda biológica de oxígeno disminuye, la turbidez del agua disminuye, lo que se refleja un mejor índice de calidad de agua –ICA- en este punto de Río San José. (Gráfica 11)

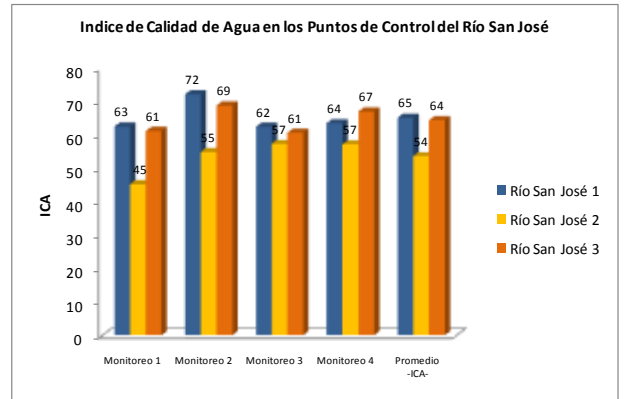
En el río Shusho el Índice de Calidad del Agua –ICA- sufre un leve descenso entre el punto de control 1 y 2, este leve descenso del índice se debe a que este río recibe la menor descarga de aguas residuales de la ciudad de Chiquimula, por lo tanto la contaminación del agua superficial es menor al pasar por la ciudad. (Gráfica 12)

Para el río Shutaque en el único punto de control establecido el valor de –ICA- es (68) similar al valor de los primeros puntos del control establecidos en el resto de los ríos,

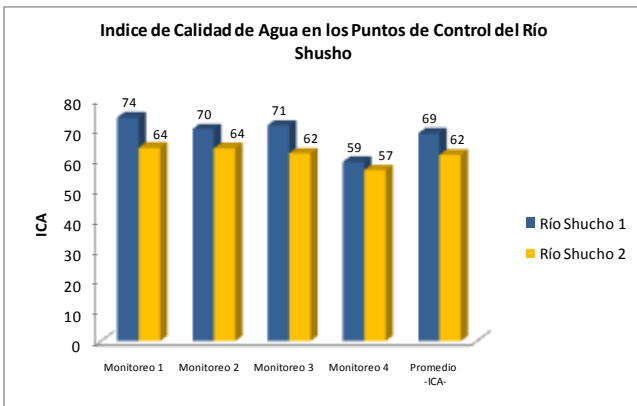
por lo tanto en este río el agua superficial tiene una baja contaminación y al desembocar en el río San José mejora la capacidad de resiliencia de este y por lo tanto el Índice de Calidad del Agua –ICA- no sufre cambios más drásticos a pesar de las descargas de aguas residuales sobre el río San José. (Gráfica 13)



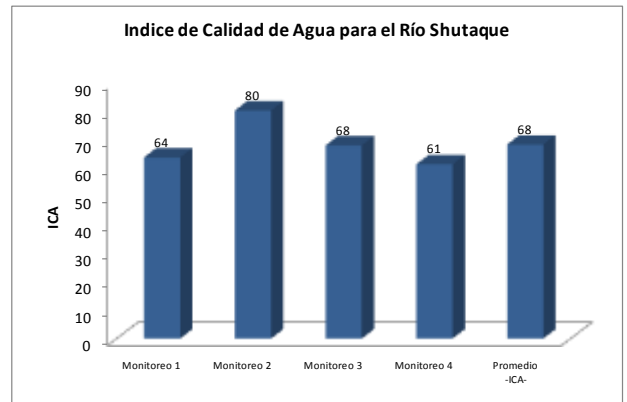
GRAFICA 10. Índice de Calidad del Agua del Río Tacó por Punto de Control.



GRAFICA 11. Índice de Calidad del Agua del Río San José por Punto de Control.



GRAFICA 12. Índice de Calidad del Agua del Río Shusho por Punto de Control.



GRAFICA 13. Índice de Calidad del Agua del Shutaque por Punto de Control.

8.4 Calidad de Agua de la Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula.

Con los resultados promedio del Índice de Calidad de Agua –ICA- en cada Punto de Control de los ríos Tacó, San José, Shusho y Shutaque, inicialmente se determinó la calidad de agua con base a la clasificación propuesta por Bronw (1970) que se presenta en el cuadro 7. De acuerdo a esta clasificación la calidad del agua se divide en 5 escalas: Excelente, Buena, Regular, Mala y Pésima.

Cuadro 14. Calidad de Agua General de la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula.

Río	Punto de Control	Índice de Calidad del Agua -ICA-	Calidad General del Agua (Bronw 1970)
Río Tacó	Río Tacó 1	69	Buena
	Río Tacó 2	44	Mala
Río San José	Río San José 1	65	Regular
	Río San José 2	54	Regular
	Río San José 3	64	Regular
Río Shusho	Río Shusho 1	69	Buena
	Río Shusho 2	62	Regular
Río Shutaque	Río Shutaque 1	68	Buena

Fuente: Elaboración Propia 2009.

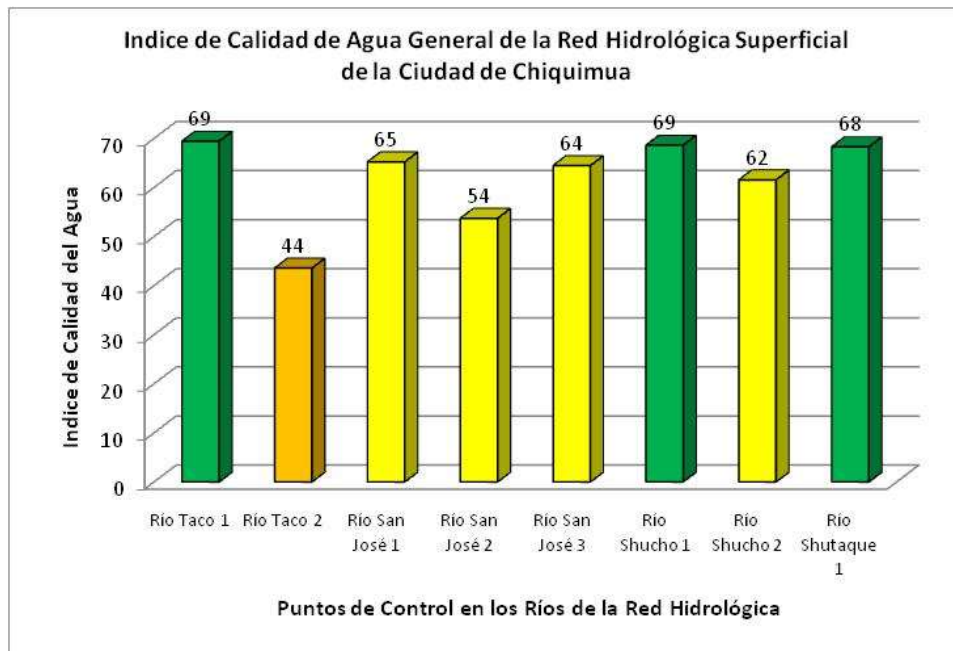
Como se observa en el cuadro 14, el río Tacó en el primer punto control antes de ingresar a la ciudad de acuerdo a la escala presenta una calidad del agua “Buena” y en el segundo punto de control la calidad del agua es “Mala”, provocado por las descargas de aguas servidas de la ciudad de Chiquimula sobre el río.

En el río San José el primer punto de control antes de ingresar a la ciudad de acuerdo a la escala presenta una calidad de agua “Regular” y en el segundo y tercer punto de control establecido en este río la calidad del agua se mantiene en “Regular”, aunque como se observa en el cuadro anterior, el Índice de Calidad del Agua –ICA- disminuye de 65 a 54 entre el punto de control 1 y 2, es decir que la calidad del agua disminuye por descarga de agua servidas sobre la corriente del río y posteriormente el punto de control 3 el –ICA- se incrementa a 64 pero la calidad del agua de acuerdo a la escala se mantiene en “Regular”.

Para el río Shusho en el primer punto de control la calidad del agua de acuerdo a la escala es “Buena” y el punto de control 2 la calidad de agua desciende a “Regular” producto de la descarga de aguas residuales sobre el río, aunque es importante indicar que este río en el segundo punto de control es el que presente mayor –ICA- (62), porque el caudal de agua servidas que se descarga es menor que en río Tacó y San José.

El río Shutaque de acuerdo a los resultados tiene una calidad de agua “Regular” antes de desembocar en el río San José, por lo tanto este río contribuye a que la calidad de agua del río San José en el punto de control 2 y 3, no presenta una alta contaminación y índice de calidad de agua menor. (Ver Figura 4)

En la Gráfica 14, se muestra el índice de calidad de agua general –ICA- para cada uno de los puntos de control monitoreados en cuatro ríos de la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula, donde se observa de forma gráfica la diferencia en el índice de calidad del agua en cada punto y se puede comparar el índice de calidad de agua de los cuatro ríos monitoreados en la presente investigación.



GRAFICA 14. Índice de Calidad del Agua, para cada uno de los puntos de control establecidos en cuatro ríos de la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula.

En la figura 4, se muestra la Calidad del Agua General en la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula, donde se puede observar que las corrientes superficiales que sufren cambios producto de la descarga de aguas servidas son el río Taco, Shucho y Shutaque, sin embargo el río San José aunque no se puestra graficamente los cambios en la caida del agua, el indice de calidad de agua si disminuye a lo largo del cauce. (Ver cuadro y gráfica 14)

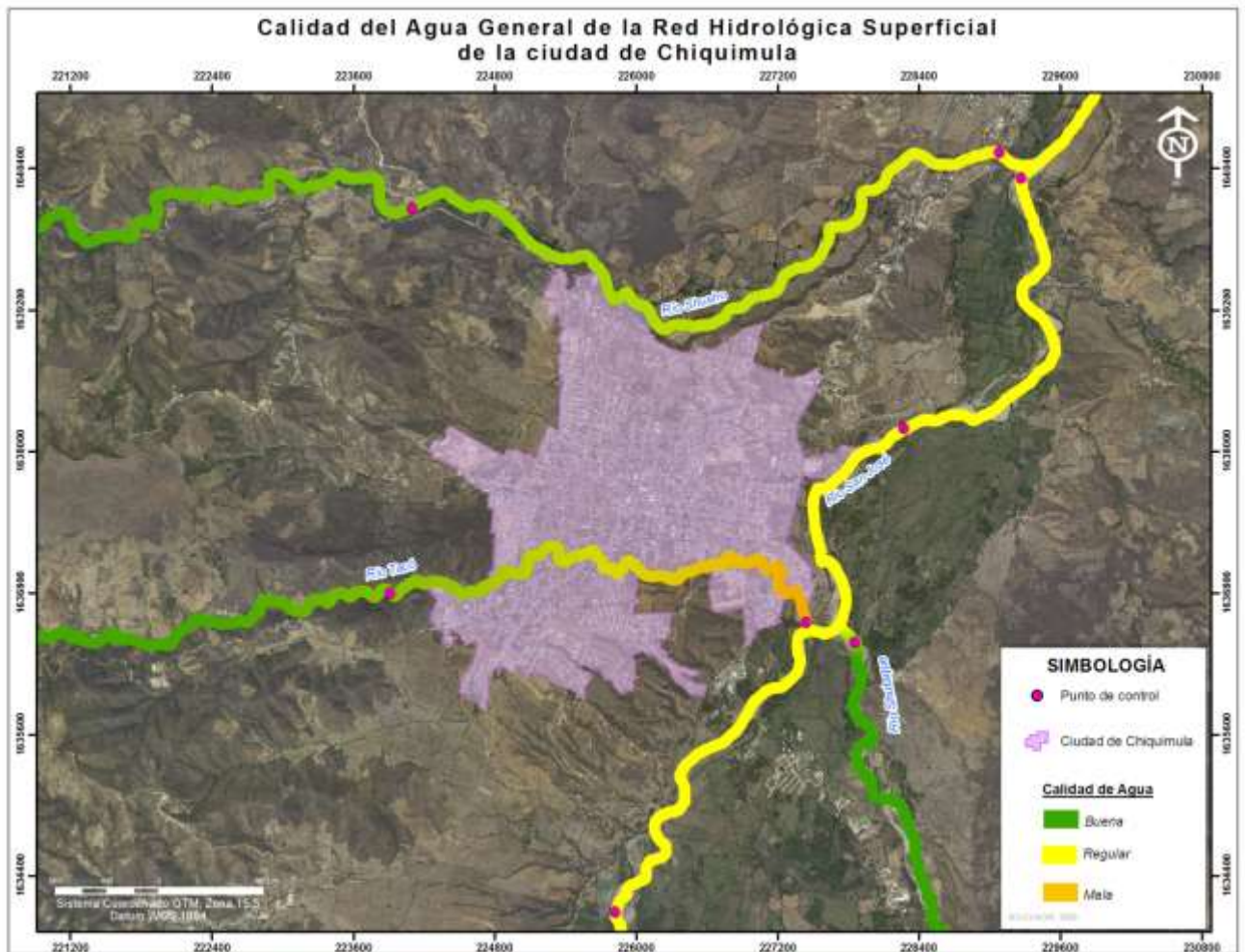


FIGURA 4. Mapa donde se muestra la Calidad del Agua General en la Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula

8.4.1 Calidad del Agua Según Criterios Generales de Uso.

Con los valores del Índice de Calidad de Agua –ICA- obtenidos en el presente estudio se realizó una evaluación utilizando los lineamiento del panel de expertos Dinius (1987),

basado en función del uso para el cual se destinará el agua de una fuente superficial, donde se definen 6 rangos de estado de Calidad del Agua: Excelente, Aceptable, Levemente Contaminada, Contaminada, Fuertemente Contaminada y Excesivamente Contaminada; y se establecen cinco criterios generales de uso, Agua Potable, Agricultura, Pesca y Vida Acuática, Industrial y Recreativo. Con base a estos rangos y criterios generales se puede observar la calidad del agua en los diferentes puntos de control establecidos de ríos que conforman la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula, en el cuadro 15.

Cuadro 15. Calidad del Agua en la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula según Criterios Generales de Uso.

Río	Punto de Control	Índice de Calidad del Agua -ICA-	CALIDAD DE AGUA SEGÚN SU USO				
			Agua Potable	Agricultura	Pesca y Vida Acuática	Industrial	Recreación
Río Tacó	Río Tacó 1	69	Levemente Contaminada	Aceptable	Excelente	Aceptable	Excelente
	Río Tacó 2	44	Fuertemente Contaminada	Contaminada	Contaminada	Contaminada	Levemente Contaminada
Río San José	Río San José 1	65	Contaminada	Levemente Contaminada	Aceptable	Levemente Contaminada	Aceptable
	Río San José 2	54	Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Aceptable
	Río San José 3	64	Contaminada	Levemente Contaminada	Aceptable	Levemente Contaminada	Aceptable
Río Shusho	Río Shusho 1	69	Levemente Contaminada	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Excelente
	Río Shusho 2	62	Contaminada	Levemente Contaminada	Aceptable	Levemente Contaminada	Aceptable
Río Shutaque	Río Shutaque 1	68	Levemente Contaminada	Levemente Contaminada	Aceptable	Levemente Contaminada	Aceptable

Fuente: Elaboración Propia 2009.

a) Río Tacó

De acuerdo al Índice de Calidad de Agua –ICA- y según la escala de los criterios generales de uso, el primer punto control establecido en río presenta la calidad de agua siguiente: Levente Contaminada para uso potable, requiriendo purificación para su consumo; Aceptable para actividades agrícolas, requiriendo una purificación menor si es utilizada en cultivos de alta calidad o exportación; Excelente para pesca y vida acuática; Aceptable para industrial y requiere purificación menor para sus uso en operaciones de

alta calidad; y Excelente para usos recreativos. En el punto de control 2 el agua del río disminuye la calidad considerablemente producto de la contaminación por aguas servidas. La calidad del agua disminuye a Levemente Contaminada y basura vertida a lo largo del cauce de este al pasar por la ciudad de Chiquimula; en este punto la calidad del agua es la siguiente: Fuertemente Contaminada para uso potable por lo que es dudoso su uso para consumo humano, ocasionando graves problemas de salud a la población que entra en contacto con la misma. Contaminada para actividades agrícolas, pesca y vida acuática e industria que requiere tratamiento para su uso en estas actividades; Levemente contaminada para actividades recreativas y no se recomienda utilizarla en actividades recreativas donde se tenga contacto con ella.

b) Río San José

En este río la calidad del agua en el primer punto de control de acuerdo a la escala de uso general es la siguiente: Contaminada para uso potable requiriendo un tratamiento potabilizador para consumo humano; Levemente Contaminada para uso agrícola y puede ser utilizada para usos agronómicos en la mayoría de cultivos; Aceptable para pesca y vida acuática, Levemente Contaminada para uso industrial y no es necesario brindarle tratamiento para su utilización en operaciones normales; Aceptable para usos recreativos donde se deben restringir los deportes de inmersión y evitar ingerirla por la presencia de bacterias. En el segundo punto de control el agua presenta una clasificación de la calidad del agua similar al primer punto a excepción para uso de pesca y vida acuática donde es dudosa la pesca sin riesgo a la salud, sin embargo el índice de calidad de agua – ICA- disminuye por lo tanto en este punto el agua presenta una mayor contaminación que el anterior. En el tercer punto de control la calidad del agua de acuerdo a la escala general de uso es la siguiente: Contaminada para uso potable, Levemente Contaminada para uso agrícola, Aceptable para Pesca y Vida Acuática donde se observa una mejora de la calidad del agua para este uso, Levemente Contaminada para uso industrial y Aceptable para recreación; en este punto el índice de calidad del agua –ICA- se incrementa a 64 producto de la ausencia de descarga de aguas servidas, la oxigenación del agua en el cauce, la disminución del número de bacterias por la acción de los rayos solares, la reducción de la

turbidez y sólidos disueltos totales y aumento en el porcentaje de saturación de oxígeno la mejora en estos parámetros incrementa el –ICA-. (Cuadro 10 y 15)

c) Río Shusho

En el primer punto de control de este río la calidad del agua se clasifica de la forma siguiente: Levemente Contaminada para uso potable la cual requiere purificación para su consumo; para uso agrícola el agua se clasifica como Aceptable requiriendo una purificación menor si es utilizada para cultivos de alta calidad y exportación; para pesca y vida acuática e industria se clasifica como Aceptable requiriendo una purificación menor si se utiliza para procesos que requieren alta calidad de la agua; y para uso recreativo se clasifica como Excelente y no requiere ningún tipo de purificación para su uso. En el segundo punto control establecido después de recibir las descargas de aguas servidas de la ciudad de Chiquimula la calidad del agua se clasifica: Contaminada para uso potable y requiere de un tratamiento potabilizador para ser utilizada para consumo; para uso agrícola se clasifica como Levemente Contaminada y es apta para utilizarla en la mayoría de cultivos, para pesca y vida acuática se clasifica como Aceptable, para uso industrial está Levemente Contaminada, y para uso recreativo se clasifica como Aceptable. (Cuadro 15)

d) Río Shutaque

En el río Shutaque como se indicó anteriormente solo se estableció un punto de control previo a la desembocadura de este en el Río San José, en este punto la calidad del agua de acuerdo a la escala de los criterios generales de uso se clasifica: Levemente Contaminada para uso potable, agrícola e industrial, y se clasifica como Aceptable para pesca y vida acuática y recreación. (Cuadro 15)

En la figura 5, se muestran los criterios generales utilizados en la clasificación anterior y el rango de –ICA- que caracteriza cada criterio.

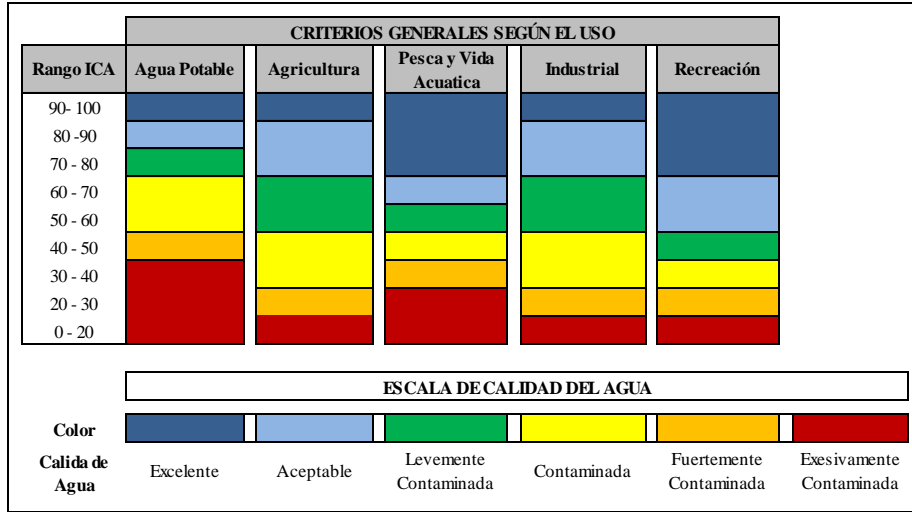


FIGURA 5. Criterios Generales según el Índice de Calidad del Agua –ICA-.

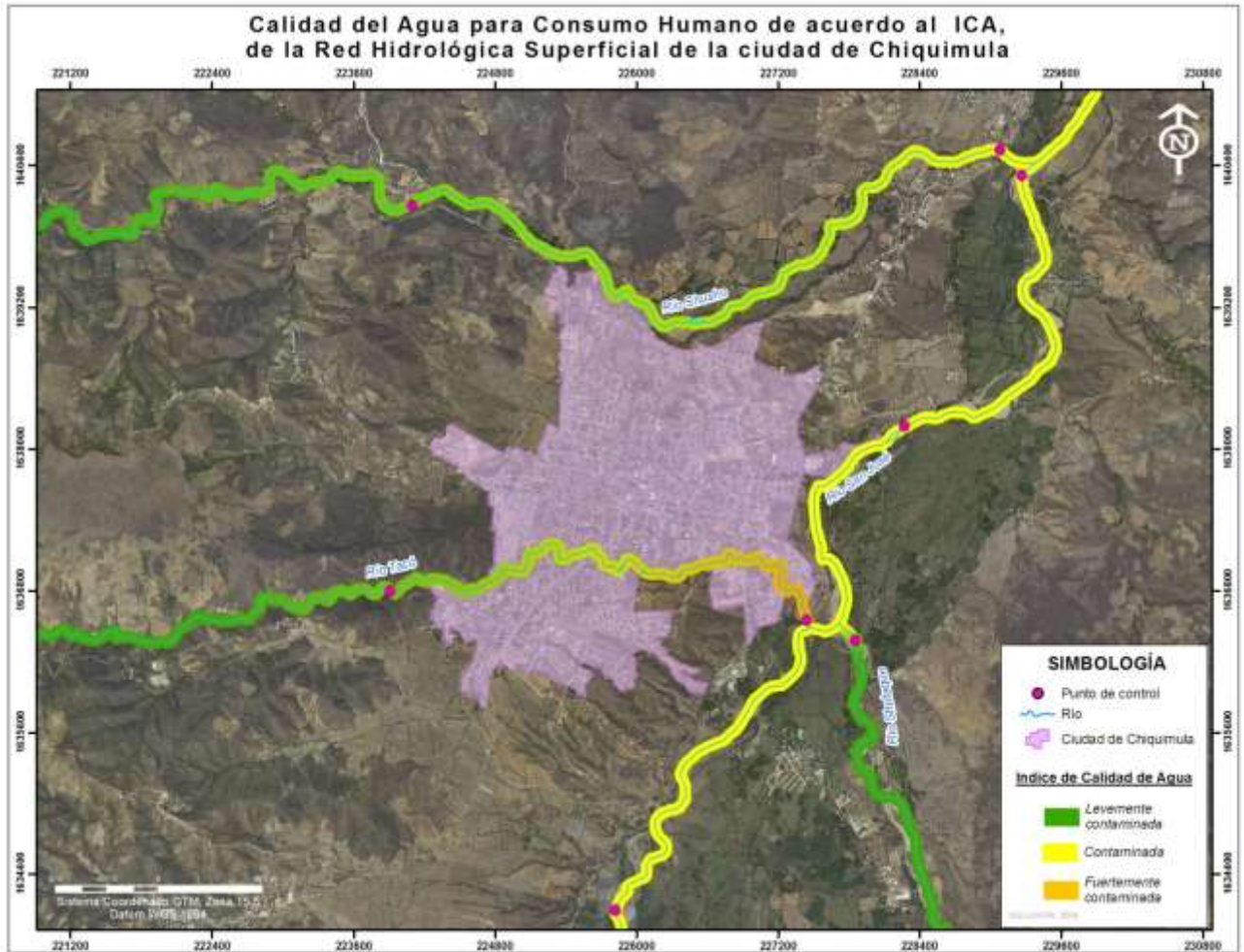


FIGURA 6. Mapa que Muestra la Calidad del Agua para Consumo Humano (Uso Potable) en la Red Hidrológica Superficial en la ciudad de Chiquimula.

En la figura 6, se puede observar como la calidad del agua de las corrientes superficiales disminuye al pasar por la ciudad de Chiquimula, provocada por la descarga de aguas servidas crudas en el cauce de los ríos Tacó, San José, Shusho y Shutaque. De los cuales los más impactados por la contaminación son el río Taco, Shusho, y aunque el río San José no sufre cambios en cuanto al criterio de calidad de agua, sin embargo el índice de calidad –ICA- disminuye.

8.5 Contaminación de la Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula.

Para determinar la contaminación de la red hidrológica superficial producto de la descarga de aguas servidas provenientes de la ciudad de Chiquimula, se utilizaron los valores del Índice de Calidad del Agua –ICA- de los ríos en cada punto de control, estableciendo la diferencia del –ICA- entre el primer y segundo punto de control de cada río.

Como se observa en el cuadro 16, el río con mayor contaminación es el Tacó, en el cual el índice de calidad del agua –ICA- se reduce en 26 unidades entre el primero y segundo punto de control, esta reducción en el índice de calidad del agua se debe principalmente a la presencia de bacterias especialmente coliformes fecales, a un incremento en la demanda biológica de oxígeno, a aumento en los niveles de nitratos y fosfatos producto de la presencia de materia orgánica u jabones, a un aumento en la turbidez por la presencia de sólidos disueltos en el agua, a la reducción de los niveles de oxígeno por la presencia de bacterias y materia orgánica (Cuadro 9). En el río San José el índice de calidad del agua –ICA- se reduce en 11 unidades entre el punto de control 1 y 2, al igual que en el río Tacó dicha condición se debe a una mayor presencia de bacterias por volumen de agua especialmente coliformes fecales, lo que provoca una mayor demanda biológica de oxígeno, un aumento en la cantidad de sólidos disueltos especialmente materia orgánica y una reducción en los niveles de oxígeno disueltos. En el río Shusho el Índice de Calidad del Agua –ICA- se reduce en 7 unidades entre el punto de control 1 y 2, este corriente es la que menor impacto de contaminación presenta debido a la menor descarga de aguas servidas sobre su cauce, pero que se encuentra amenazada por el crecimiento urbano hacia el norte de la ciudad donde ubica está corriente superficial y existe el riesgo que las nuevas

urbanizaciones descarguen las aguas servidas sin ningún tipo de tratamiento en el cauce del río.

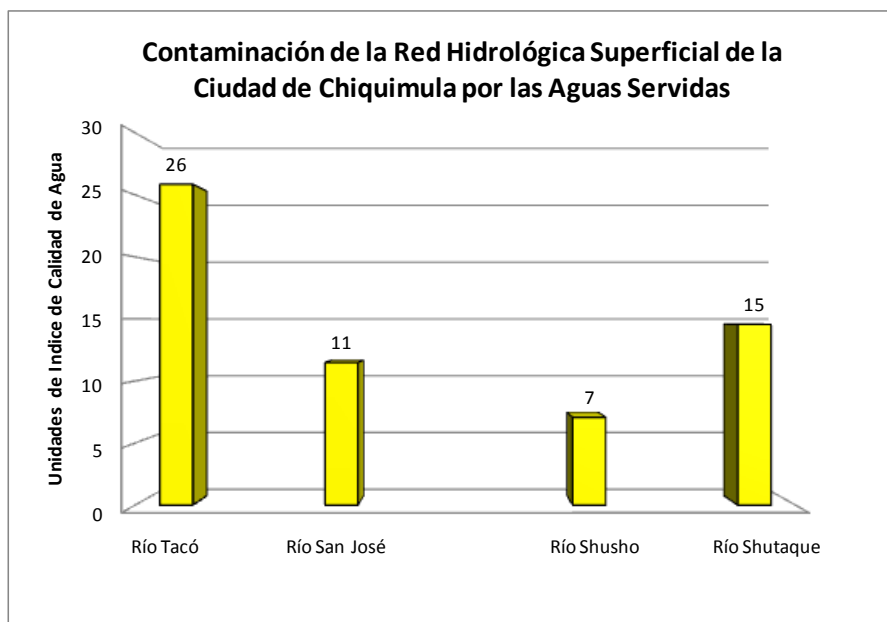
En el río Shutaque, solo se estableció un punto de control previo a la desembocadura de este en el río San José, con propósito de conocer la influencia de la calidad del agua de este río sobre el río San José. Encontrándose que el agua del río Shutaque contribuye a diluir la contaminación provocada por las aguas servidas en el río San José al aportar un caudal importante (1.3 m³/seg) con un índice de calidad superior a la del río San José. (Cuadro 16)

Cuadro 16. Contaminación que Provocan las Aguas Servidas sobre la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula.

Río	Punto de Control	Índice de Calidad del Agua -ICA-	Diferencial de Contaminación
Río Tacó	Río Tacó 1	69	26
	Río Tacó 2	44	
Río San José	Río San José 1	65	11
	Río San José 2	54	
	Río San José 3	64	
Río Shusho	Río Shusho 1	69	7
	Río Shusho 2	62	

Fuente: Elaboración Propia 2009.

En la grafica 15, se compara la reducción del índice de calidad del agua –ICA- (Diferencial de contaminación) en la corriente superficial de los ríos Tacó, San José y Shusho, donde se observa que la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula sufre un impacto por la descarga de aguas servidas sin ningún tipo de tratamiento en el cauce los ríos, afectando la disponibilidad de este recurso para diversos usos: agua potable, producción agrícola, pesca, industria y recreación.



GRAFICA 15. Contaminación en Unidades del Índice de Calidad del Agua –ICA- entre el Primer y Segundo Punto de Control en los ríos Tacó, San José y Shusho de la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula.

8.6 Distribución de Puntos de Descarga de Aguas Servidas sobre la Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula.

Por medio un recorrido a los largo de los 18.69 km del cauce de la red hidrológica conformada por los río Tacó, San José y Shusho entre los puntos de control, se determino que existen 123 puntos de descarga de agua servidas provenientes de la ciudad de Chiquimula, los cuales se clasificaron en puntos de descarga principales y puntos de descarga secundarios, identificándose 6 puntos de descarga principales de agua servidas y 117 puntos de descarga secundarios; de ellos el 97% se ubican en el río Tacó, el 3% en el río San José donde todo son puntos de descarga son principales y representa el mayor caudal de aguas servidas, y restante 6% se ubican en el Río Shusho, como se observa en el cuadro 17.

Se definió como punto de descarga principal, los puntos a los largo del cauce de los ríos donde se vierten aguas servidas de forma permanente y caudales continuos; los puntos de descarga secundarios, son puntos a los largo del cauce de los ríos donde se vierten aguas servidas de forma intermitente o efímera y el caudal no es continuo.

Cuadro 17. Distribución de los Puntos de Descarga de Aguas Servidas sobre la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula.

Río	No. de Puntos de Descarga de Agua Servidas	Puntos de Descarga Principales	Puntos de Descarga Secundarios	Porcentaje
Río Tacó	112	2	110	91%
Río San José	4	4		3%
Río Shusho	7		7	6%
TOTAL	123	6	117	

Fuente: Elaboración Propia 2009.

En la figura 7, se puede observar la ubicación de los puntos de descarga de las aguas servidas a lo largo del cauce del río Tacó y se muestra la alta densidad de descargas en el cauce del río al pasar por la ciudad de Chiquimula, esto se debe a una mayor presencia de viviendas en el margen del río y a la topografía que limita el acceso de conexión de estas viviendas a la red de drenajes de la ciudad, así mismo la red de drenajes en la zona 4 de la zona 4 ubicada en el suroeste de la ciudad vierte las aguas servidas sin ningún tipo de tratamiento sobre la corriente superficial de río, afectando considerablemente la calidad del agua y pone en riesgo la salud de los habitantes.

También se muestra la ubicación de los puntos de descarga de las aguas servidas en el cauce del río San José, donde se vierten las aguas servidas de las zonas centrales de la ciudad en cuatro puntos sin ningún tipo de tratamiento, afectando la calidad del agua para diversos usos a lo largo del cauce del río. En el río Shusho la descarga de aguas servidas corresponde a viviendas ubicadas en el margen del río en la zona 7 de la ciudad y a aguas servidas provenientes de las viviendas de la aldea Petapilla.



FIGURA 7. Mapa de la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula, donde se muestra la ubicación de puntos de Descarga de Agua Servidas en el cauce de los ríos Tacó, San José y Shusho, al pasar por la ciudad de Chiquimula.

8.7 Lineamientos para el Manejo de las Aguas Servidas de la Ciudad de Chiquimula

Para el manejo de las aguas servidas producidas por la ciudad de Chiquimula que son descargadas directamente sobre la corriente superficial de la red hidrológica se plantean dos lineamientos uno está dirigido a impulsar normativas y ordenanzas a nivel municipal para prevenir y evitar un mayor impacto sobre las corriente de agua superficiales. El segundo está dirigido al tratamiento y aprovechamiento productivo de las aguas servidas para la producción agropecuaria y otros usos.

8.7.1 Normativa a Nivel Municipal

Una estrategia que se proponen en este estudio para evitar la contaminación de la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula, es la emisión de Normativas y Ordenanzas por parte de la Municipalidad de Chiquimula para regular la descarga de aguas servidas de origen domiciliar y comercial sobre la red hidrológica, con el propósito de evitar que nuevos emisarios continúen vertiendo las agua servidas sin ningún tipo de tratamiento sobre las corrientes de agua superficial.

El objetivo de esta estrategia es impulsar una medida para evitar que nuevos proyectos urbanísticos y comerciales (nuevos emisarios) continúen contaminando las corrientes de agua superficiales, para ello la municipalidad puede apoyarse en el Código Municipal Decreto Legislativo 12-2002 en los artículos 35 y 68 donde se establecen las competencias del consejo municipal y las competencias del municipio, en el Código de Salud Decreto Legislativo 90-97 y en el Reglamento de las Descargas y Reuso de Agua Residuales y de la Disposición de Lodos Acuerdo Gubernativo 236-2006.

8.7.2 Establecimiento de un Sistema Viable para el Tratamiento y Aprovechamiento Productivo de las Agua Servidas.

Otra estrategia complementaria a la parte normativa es la propuesta para establecer un sistema de conducción, tratamiento y aprovechamiento productivo de las aguas servidas de la ciudad de Chiquimula. De acuerdo al estudio realizado en el río Tacó se ubicarón 112 puntos de descarga de aguas servidas de los cuales dos son principales y los 110 restantes son secundarios lo cual provoca que este río presente los valores más bajos de – ICA- y un alto grado de contaminación, por lo tanto es necesario establecer un sistema de conducción a lo largo de 4.9 km que corresponde a la longitud del cauce que atraviesa la ciudad de Chiquimula, este sistema de conducción permitirá captar las aguas servidas de los 112 puntos de descarga identificados y de emisarios nuevos para conducir las a un sistema de tratamiento en la rivera del río San José donde se le brinde un tratamiento primario y secundario a las agua servidas. Este constituirá el Primer Sistema de Tratamiento de Aguas Servidas (Primera Planta de Tratamiento) que inicialmente puede ser un proyecto piloto.

En el río San José se identificaron 4 puntos de descarga principales de aguas servidas, que de acuerdo a su ubicación (ver figura 7) el agua servida puede ser conducida a un sistema de tratamiento al lado Este del río San José donde se le brinde tratamiento primario y secundario. Este Constituirá el Segundo Sistema de Tratamiento de Aguas Servidas (Segunda Planta de Tratamiento).

De acuerdo a análisis realizados a las aguas servidas en dos puntos de descarga principales (Drenaje del Molino y de Sasmó), se encontraron altos niveles de Nitratos (106 y 120 mg/l) y de Fosfatos (13 a 16 mg/l). Así mismo se determinó el caudal de en tres puntos de descarga principales (Drenaje del Molino, Drenaje aledaño a CUNORI, Drenaje de Sasmó) estimándose un total de 91.52 l/seg en los tres puntos, lo que constituye un dato de referencia del posible causal a manejar en los Sistemas de Tratamiento, cuadro 18.

Cuadro 18. Caudal de Tres de los Principales Puntos de Descarga de Aguas Servidas de la Ciudad de Chiquimula.

Punto de Descarga Principal (Drenaje)	Caudal l/seg
Sasmo	45.78
El Molino	12.92
Cunori	32.81
Total	91.52

Fuente: Elaboración Propia 2009.

a) Aprovechamiento de las Aguas Servidas Tratadas para Actividades Productivas

El agua manejada en los dos sistemas de tratamiento podrá ser utilizada para riego por los productores del Valle del río San José donde existe un área potencial de riego de 365.54 hectáreas de pastos, granos básicos (maíz), hortalizas y árboles frutales. Esta agua por poseer grandes cantidades de nutriente especialmente nitratos y fosfatos puede ser utilizada para la producción agropecuaria y los lodos generados pueden ser utilizados en la elaboración de abono orgánico para recuperación de suelo.

Y al reusar las aguas servidas para riego se les están brindando un tratamiento terciario que es el procedimiento más completo para tratar aguas residuales, pero no es

ampliamente adoptado por ser muy caro. Este tratamiento consiste en un proceso físico-químico que utiliza la precipitación, la filtración y/o absorción para reducir drásticamente los niveles de nutrientes inorgánicos, especialmente los fosfatos y nitratos del efluente final. Y el agua residual que recibe un tratamiento terciario adecuado no permite un desarrollo microbiano.

Con esta práctica se reducen los costos de tratamiento de agua servidas además, se aporta nutrientes esenciales para el desarrollo de los cultivos que benefician al productor a través de la reducción en los costos por concepto de fertilizantes (nitrogenados y fosfatados) y mano de obra en la aplicación de los mismos.

Se estima que con el caudal de agua servidas que produce actualmente la ciudad de Chiquimula (91.52 l/seg), tiene el potencial para regar por gravedad 138 Has. de pastos, 60 Has. de maíz ó 110 Has. de Hortalizas utilizando sistema de riego por goteo, de acuerdo a los requerimientos de cada uno de los cultivos. (Ver figura 8)

Esta estrategia debe desarrollarse bajo el concepto de un proyecto de aprovechamiento productivo de las aguas servidas, por lo tanto debe implementarse un mecanismo para ofrecer los productores agropecuarios el servicio de agua tratada para riego, por el valor nutritivo que tienen para actividades agropecuarias. Con los ingresos obtenidos del uso agua para riego se sufragarían parcial o totalmente los costos de mantenimiento del sistema de tratamiento y este puede llegar a constituirse en un proyecto sostenible.



FIGURA 8. Mapa donde se muestra el área con potencial para riego en el Valle de río San José, utilizando las aguas servidas de la Ciudad de Chiquimula.

8.7.3 Impactos Esperados

- Mejora de Índice de Calidad del Agua –ICA- de los ríos de conforman la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula.
- Se brinda un manejo adecuado a las aguas servidas, reduciendo los riesgos a la salud y ambiente.
- Beneficio a los productores agropecuarios del Valle del río San José al ofrecerles un servicio de agua para riego con alto valor nutritivo para sus cultivos.
- Mejora de la productividad de los sistemas agropecuarios del Valle del río San José.

- Mejora del caudal ecológico de los ríos San José y Shutaque, al disminuir la presión sobre el caudal de estos ríos para riego al utilizar agua proveniente de las aguas servidas de la ciudad.
- La municipalidad de Chiquimula cumple con lo establecido en la Reglamento de las Descargas y Reuso de Agua Residuales y de la Disposición de Lodos, donde se establece que las municipalidades están obligadas a establecer sistemas de tratamiento para darles un manejo adecuado a las aguas servidas.
- Esta estrategia se constituye en un proyecto productivo de la municipalidad de Chiquimula.

9. CONCLUSIONES

1. Los valores de los parámetros del índice de calidad de agua en la corriente superficial de los ríos al pasar por la ciudad de Chiquimula, muestran niveles que reflejan la contaminación provocada por la descarga de aguas servidas de forma directa sobre las corrientes de agua. Encontrándose que el agua río Tacó muestra una mayor variación en los valores de los parámetros del índice de calidad de agua que reflejan una mayor contaminación.
2. El índice de calidad de agua –ICA- disminuye a lo largo del cauce de los ríos Tacó, San José y Shusho al pasar por la ciudad de Chiquimula, producto de la descarga de aguas servidas y la deposición de desechos sólidos.
3. La calidad del agua para uso general disminuye en el cauce de los ríos Tacó, Shusho y Shutaque al pasar por la ciudad de Chiquimula, aunque en el río San José la escala de calidad del agua general no sufre variación el índice de calidad –ICA- si se reduce.
4. De acuerdo al índice de calidad y los criterios generales de uso, el agua de la corriente superficial en la red hidrológica muestra una reducción de la calidad especialmente para consumo humano, agricultura, pesca, industria y recreación, a consecuencia de la contaminación provocada por las aguas servidas.
5. La contaminación del agua superficial es mayor en el río Taco, debido al caudal de este y a un mayor número de puntos de descarga de aguas servidas a lo largo del cauce del río al pasar por la ciudad de Chiquimula.
6. La red hidrológica está siendo utilizada como canales de conducción para el transporte de aguas servidas provenientes de la ciudad.
7. Las aguas servidas por los altos niveles de nitratos y fosfatos tienen potencial para uso agropecuario al brindarles tratamiento adecuado.

10. RECOMENDACIONES

1. Formular y establecer medidas control a nivel del gobierno municipal tomando como base el marco legal existente en materia ambiental, para evitar que nuevos emisarios viertan las aguas servidas sin tratamiento a lo largo del cauce de los ríos.
2. Brindar tratamiento primario (retención de sólidos) a las aguas servidas en los principales puntos de descarga, para reducir el impacto sobre la corriente superficial de la red hidrológica y evitar disminuir la calidad del agua de los ríos al pasar por la ciudad de Chiquimula.
3. Aprovechar el potencial de uso de las aguas servidas tratadas para riego principalmente en actividades agropecuarias por el alto contenido de nutrientes especialmente de nitratos y fosfatos.
4. Impulsar proyectos de inversión pública para la conducción, tratamiento y aprovechamiento de las aguas servidas en actividades agropecuarias, que permitan evitar y/o reducir la descarga sobre las corrientes superficiales para mejorar la calidad del agua de la red hidrológica.
5. Realizar estudios técnicos y financieros para establecer un proyecto piloto que permita brindar tratamiento a las aguas servidas que se vierten en el río Tacó, para reusarla en actividades agropecuarias.
6. Continuar el monitoreo de la Calidad del Agua en la red hidrológica de la ciudad de Chiquimula, para generar una base de datos que permitan sistematizar el índice de calidad del agua en la red.

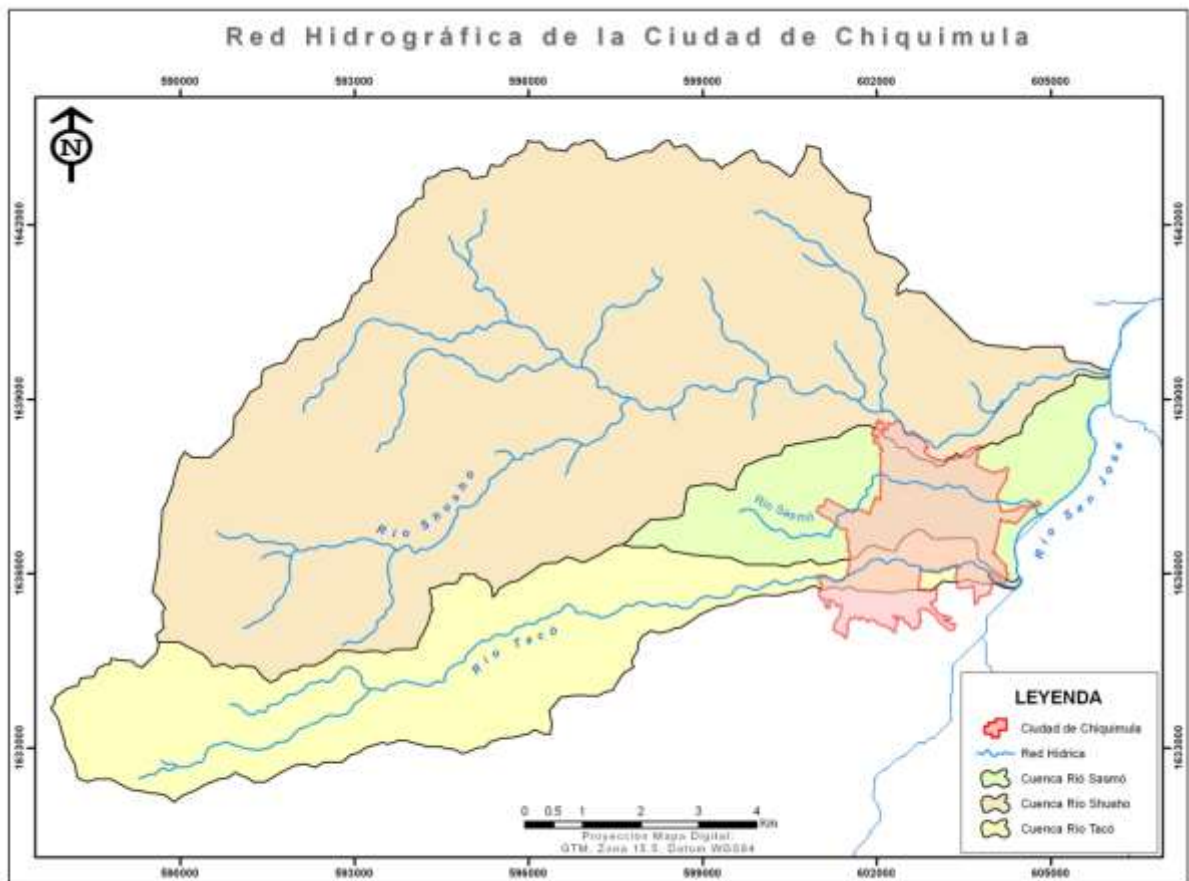
11. BIBLIOGRAFIA

1. Asamblea Nacional Constituyente, GT. 1985. Constitución política de la república de Guatemala. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques. 62 p.
2. Castillo Ríos, AJ. 1985. Caracterización socio-económica del municipio de Chiquimula, departamento de Chiquimula: administración de entidades públicas. Guatemala, USAC, Facultad de Ciencias Económicas. 208 p.
3. Comisión Departamental de Medio Ambiente, Chiquimula, GT. 2006. Perfil ambiental de Chiquimula. Chiquimula, Guatemala, Asociación Regional Campesina Chortí. 43 p.
4. Comisión Guatemalteca de Normas, GT. 2003. Norma guatemalteca obligatorio agua potable. Guatemala, Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Departamento de Salud de los Programas de Salud y Ambiente. 20 p.
5. Congreso de la República de Guatemala, GT. 1997. Código de salud. Guatemala, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 50 p.
6. Cruz S, JR De la. 1976. Clasificación para las zonas de vida de Guatemala basada en el sistema Holdridge. Guatemala, INAFOR. 24 p.
7. DIGI (USAC, Dirección General de Investigación, GT). 1989. Caracterización preliminar de la cuenca del río Tacó. Chiquimula, Guatemala, USAC, Centro Universitario de Oriente. 181 p.
8. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2002. Censo nacional xi de población y vi de habitación: características de la población y de los locales de habitación censados. Guatemala. 266 p.
9. León Viscaíno, LF. 1997. Índices de calidad del agua (ICA), forma de estimarlo y aplicación en el cuenca del río Lerma-Chapala. México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 7 p.
10. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2001. Unidad de políticas e información estratégica. Guatemala, MAGA, Programa de Emergencia por Desastres Naturales. 27 p.
11. MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, GT). 2006. Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la deposición de lodos. Diario Oficial de Centro América, Guatemala, GT, mayo 14:24.
12. OMS, US. 1988. Guías para la calidad del agua potable. Washington, DC, US. 132 p.
13. ONU, US. 2001. Informe de desarrollo humano 2001: Guatemala: el financiamiento del desarrollo humano. Guatemala. 234 p.

14. SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SV). 1998. Índice de calidad del agua general "ICA". San Salvador, El Salvador, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Servicio Nacional de Estudios Territoriales. 14 p.
15. Solís Cuellar, H. 2005. Diagnostico de las aguas servidas municipales sobre la calidad del agua del rio San José, en la cabecera del departamento de Chiquimula. Tesis Ing. Agr. Chiquimula, Guatemala, USAC, Centro Universitario de Oriente. 63 p.
16. The Louis Berger Group, GT. 2001. Informe de diagnóstico: estudios, planos y diseño finales del sistema de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Chiquimula. Chiquimula, Guatemala, Berger Group. 21 p.
17. Villafuerte, H. 1994. Caracterización de la cuenca del riachuelo Shusho. Chiquimula, Guatemala, USAC, Centro Universitario de Oriente. 108 p.

12. ANEXOS

Anexo 1. Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula



Anexo 2. Ubicación de los Puntos de Control sobre la Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula



Anexo 3. Ubicación de los Puntos de Descarga de Aguas Servidas sobre la Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula.



Anexo 4. Resultados de los Análisis de Agua de cada Punto de Control en la Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula

Resultados de los Análisis del Primer Monitoreo de Cada uno de los Parámetros del Índice de Calidad de Agua -ICA-.

Río / Punto de Control	Coliformes Fecales NPM/100	pH	DBO5 mg/L	Nitratos mg/L	Fosfatos mg/L	Temperatura °C	Turbidez NTU	Solidos Dis. Totales mg/L	Oxigeno Disuelto % Saturación
Río Tacó 1	110	8.48	0.24	2.7	0.36	1.35	19.2	346	101.4
Río Tacó 2	1680	7.87	8.16	50.1	6.85	1.45	75.3	734	35.2
Río San José 1	420	8.44	1.5	5.7	0.68	1	104	466	111.9
Río San José 2	1400	8.1	10.8	14	2.49	1.14	56.35	492	51.8
Río San José 3	714	8.21	5.3	7	1.4	1.39	27.5	348	112.7
Río Shusho 1	168	8.48	1.15	2.06	0.67	1.2	5.68	312	109.6
Río Shusho 2	490	8.75	1.51	3.2	0.6	1.3	7.7	338	141.6
Río Shutaque 1	350	8.6	0.95	4.4	1.62	1.6	17.04	264	112.7

Resultados de los Análisis del Segundo Monitoreo de Cada uno de los Parámetros del Índice de Calidad de Agua -ICA-.

Río / Punto de Control	Coliformes Fecales NPM/100	pH	DBO5 mg/L	Nitratos mg/L	Fosfatos mg/L	Temperatura °C	Turbidez NTU	Solidos Dis. Totales mg/L	Oxigeno Disuelto % Saturación
Río Tacó 1	382	8.58	1.68	3.6	0.45	1.35	62	372.5	99.1
Río Tacó 2	2952	8.06	8.22	15.5	1.55	4.94	78.3	477.5	72
Río San José 1	5	8.8	1.89	7.4	0.64	0.9	19	345	122.2
Río San José 2	846	8.29	5.03	5.8	0.75	5.62	22.2	355	70.02
Río San José 3	418	8.18	2.30	4.2	0.54	2.95	14.2	350	112.5
Río Shusho 1	456	8.4	1.17	5	0.47	1.2	40.7	332.5	99.5
Río Shusho 2	976	8.54	2.00	4	0.53	3.76	14.1	345	90.2
Río Shutaque 1	6	8.61	0.915	4.1	0.28	2.55	6.8	232.5	112.3

Anexo 4. Resultados de los Análisis de Agua de cada Punto de Control en la Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula

Resultados de los Análisis del Tercer Monitoreo de Cada uno de los Parámetros del Índice de Calidad de Agua -ICA-.

Río / Punto de Control	Coliformes Fecales NPM/100	pH	DBO5 mg/L	Nitratos mg/L	Fosfatos mg/L	Temperatura °C	Turbidez NTU	Solidos Dis. Totales mg/L	Oxigeno Disuelto % Saturación
Río Tacó 1	288	8.46	0.69	2.7	0.9	1.35	46	340	100.8
Río Tacó 2	2316	8.89	5.79	7.3	4.05	1.75	58	502.5	39.1
Río San José 1	470	8.16	1.32	14	1.03	1.61	86	360	100.5
Río San José 2	1123	8.45	4.52	9.5	1.01	1.62	129	330	87.6
Río San José 3	566	8.07	1.77	11.1	1.24	1.96	54	1440	97.8

Resultados de los Análisis del Cuarto Monitoreo de Cada uno de los Parámetros del Índice de Calidad de Agua -ICA-.

Río / Punto de Control	Coliformes Fecales NPM/100	pH	DBO5 mg/L	Nitratos mg/L	Fosfatos mg/L	Temperatura °C	Turbidez NTU	Solidos Dis. Totales mg/L	Oxígeno Disuelto % Saturación
Río Tacó 1	463	8.69	0.705	5	1	1.35	67	320	118.6
Río Tacó 2	2074	8.2	8.55	10.2	1.22	2.17	112	400	47
Río San José 1	220	8.45	1.14	10.7	0.74	2.37	26.4	315	134.6
Río San José 2	840	8.18	7.98	12	0.87	3.07	33	382.5	78
Río San José 3	425	8.11	2.28	9.4	0.71	0.5	31	332.5	105
Río Shusho 1	2,950	8.35	1.41	7.3	0.63	1.2	557	545	116.4
Río Shusho 2	7840	8.34	1.62	10.53	0.72	0.78	718	605	117.4
Río Shutaque 1	1445	8.45	0.69	12.1	0.88	2.1	45.5	250	119.5

Anexo 5. Determinación del Índice de Calidad de Agua -ICA- en la Red Hidrológica Superficial de la Ciudad de Chiquimula.

CUARTO MONITOREO MES DE SEPTIEMBRE-2009

RIO TACÓ

PUNTO DE CONTROL 1						
-Ingreso del Río a la Ciudad de Chiquimula-						
Parámetros		Valor	Unidades	Sub_i	Wi	Total
1	Coliformes Fecales	463	NMP/100 ml	34,5	0,15	5,18
2	pH	8,69	Unidades pH	67,5	0,12	8,10
3	DBO ₅	0,71	mg/l	92	0,10	9,20
4	Nitratos	5	mg/l	73,2	0,10	7,32
5	Fosfatos	1	mg/l	40	0,10	4,00
6	Temperatura	1,35	°C	82	0,10	8,20
7	Tubidez	67	FAU	30	0,08	2,40
8	Solidos disueltos Totales	320	mg/l	56,2	0,08	4,50
9	Oxigeno Disuelto	118,6	% saturación	91	0,17	15,47
Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-					Suma	64,36

PUNTO DE CONTROL 2						
-Salida del Río de la Ciudad de Chiquimula-						
Parámetros		Valor	Unidades	Sub_i	Wi	Total
1	Coliformes Fecales	2074	NMP/100 ml	20,5	0,15	3,08
2	pH	8,2	Unidades pH	75,5	0,12	9,06
3	DBO ₅	8,55	mg/l	40	0,10	4,00
4	Nitratos	10,2	mg/l	50,5	0,10	5,05
5	Fosfatos	1,22	mg/l	37	0,10	3,70
6	Temperatura	2,17	°C	71	0,10	7,10
7	Tubidez	112	FAU	5	0,08	0,40
8	Solidos disueltos Totales	400	mg/l	47	0,08	3,76
9	Oxigeno Disuelto	47	% saturación	40	0,17	6,80
Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-					Suma	42,95

RIO SAN JOSE

PUNTO DE CONTROL 1						
-Ingreso del Río a la Ciudad de Chiquimula-						
	Parámetros	Valor	Unidades	Sub _i	Wi	Total
1	Coliformes Fecales	220	NMP/100 ml	42,5	0,15	6,38
2	pH	8,45	Unidades pH	67	0,12	8,04
3	DBO ₅	1,14	mg/l	87,77	0,10	8,78
4	Nitratos	10,7	mg/l	50	0,10	5
5	Fosfatos	0,74	mg/l	52,5	0,10	5,25
6	Temperatura	2,37	°C	74	0,10	7,4
7	Tubidez	26,4	FAU	55	0,08	4,4
8	Solidos disueltos Totales	315	mg/l	57	0,08	4,56
9	Oxigeno Disuelto	134,6	% saturación	81	0,17	13,77
Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-					Suma	63,57

PUNTO DE CONTROL 2						
-Salida del Río de la Ciudad de Chiquimula-						
	Parámetros	Valor	Unidades	Sub _i	Wi	Total
1	Coliformes Fecales	840	NMP/100 ml	25	0,15	3,75
2	pH	8,18	Unidades pH	78	0,12	9,36
3	DBO ₅	7,98	mg/l	41,6	0,10	4,16
4	Nitratos	12	mg/l	49	0,10	4,90
5	Fosfatos	0,87	mg/l	61,8	0,10	6,18
6	Temperatura	3,07	°C	65,5	0,10	6,55
7	Tubidez	33	FAU	50,5	0,08	4,04
8	Solidos disueltos Totales	382,5	mg/l	49	0,08	3,92
9	Oxigeno Disuelto	78	% saturación	84,5	0,17	14,37
Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-					Suma	57,23

PUNTO DE CONTROL 3						
-Previo a Descemvocadura del Río Shusho-						
Parámetros		Valor	Unidades	Sub_i	Wi	Total
1	Coliformes Fecales	425	NMP/100 ml	35,5	0,15	5,33
2	pH	8,11	Unidades pH	81	0,12	9,72
3	DBO ₅	2,28	mg/l	77,7	0,10	7,77
4	Nitratos	9,4	mg/l	53	0,10	5,30
5	Fosfatos	0,71	mg/l	55,5	0,10	5,55
6	Temperatura	1,2	°C	83,5	0,10	8,35
7	Tubidez	31	FAU	51,5	0,08	4,12
8	Solidos disueltos Totales	332,5	mg/l	55	0,08	4,40
9	Oxigeno Disuelto	105	% saturación	97	0,17	16,49
Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-					Suma	67,03

RIO SHUSHO

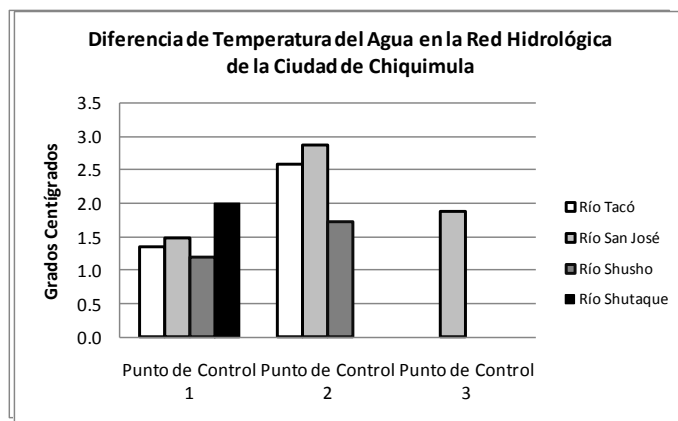
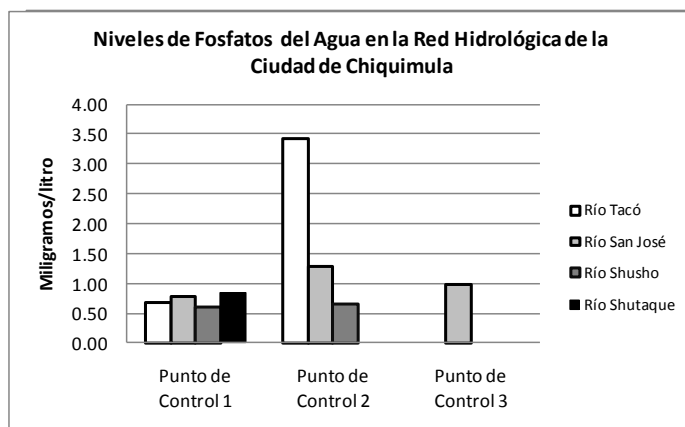
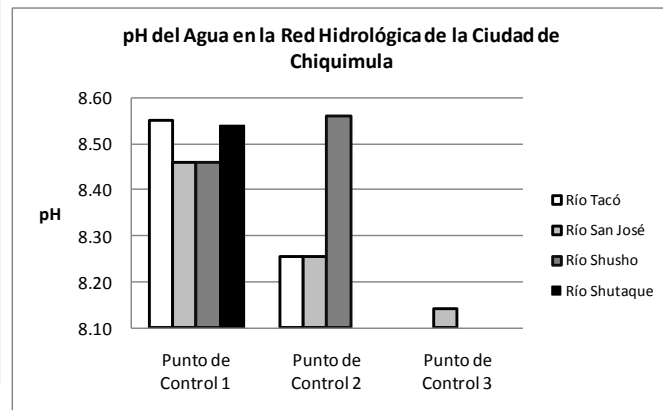
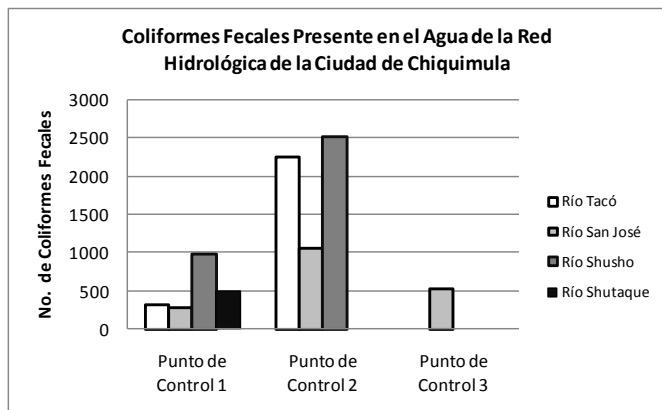
PUNTO DE CONTROL 1						
-Ingreso del Río a la Ciudad de Chiquimula-						
Parámetros		Valor	Unidades	Sub_i	Wi	Total
1	Coliformes Fecales	2.950	NMP/100 ml	19,5	0,15	2,93
2	pH	8,35	Unidades pH	71	0,12	8,52
3	DBO ₅	1,41	mg/l	86,1	0,10	8,61
4	Nitratos	7,3	mg/l	63	0,10	6,30
5	Fosfatos	0,63	mg/l	59	0,10	5,90
6	Temperatura	1,2	°C	83	0,10	8,30
7	Tubidez	557	FAU	5	0,08	0,40
8	Solidos disueltos Totales	545	mg/l	32	0,08	2,56
9	Oxigeno Disuelto	116,4	% saturación	92	0,17	15,64
Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-					Suma	59,16

PUNTO DE CONTROL 2						
-Salida del Río de la Ciudad de Chiquimula-						
	Parámetros	Valor	Unidades	Sub_i	Wi	Total
1	Coliformes Fecales	7840	NMP/100 ml	12,5	0,15	1,88
2	pH	8,34	Unidades pH	71	0,12	8,52
3	DBO ₅	1,62	mg/l	83	0,10	8,30
4	Nitratos	10,53	mg/l	50	0,10	5,00
5	Fosfatos	0,72	mg/l	55	0,10	5,50
6	Temperatura	0,78	°C	88	0,10	8,80
7	Tubidez	718	FAU	5	0,08	0,40
8	Solidos disueltos Totales	605	mg/l	32	0,08	2,56
9	Oxigeno Disuelto	117,4	% saturación	91,5	0,17	15,56
Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-					Suma	56,51

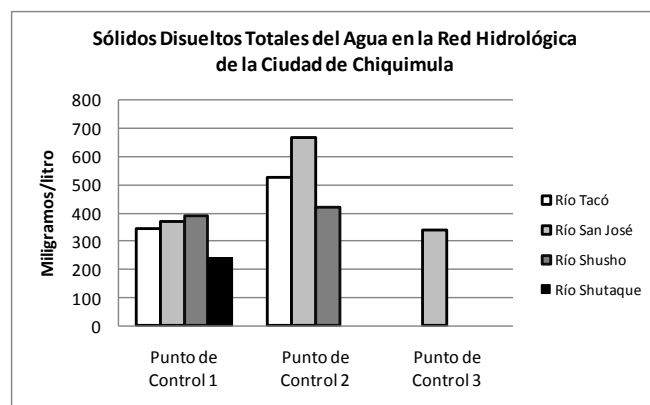
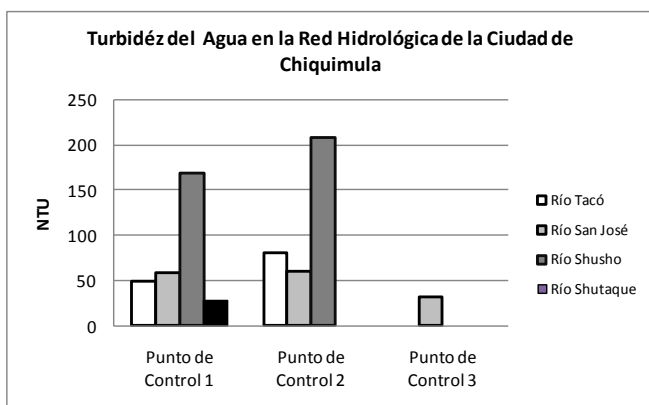
RIO SHUTAQUE

PUNTO DE CONTROL 1						
-Previo a la Descenvadura en el Río San José-						
	Parámetros	Valor	Unidades	Sub_i	Wi	Total
1	Coliformes Fecales	1445	NMP/100 ml	17,5	0,15	2,63
2	pH	8,45	Unidades pH	68	0,12	8,16
3	DBO ₅	0,69	mg/l	92,2	0,10	9,22
4	Nitratos	12,1	mg/l	49	0,10	4,90
5	Fosfatos	0,88	mg/l	46,5	0,10	4,65
6	Temperatura	2,1	°C	76,5	0,10	7,65
7	Tubidez	45,5	FAU	41,5	0,08	3,32
8	Solidos disueltos Totales	250	mg/l	67	0,08	5,36
9	Oxigeno Disuelto	119,5	% saturación	90,5	0,17	15,39
Valor de Índice de Calida de Agua -ICA-					Suma	61,27

Anexo 6. Graficas que muestran los Resultados Obtenidos en cada uno de los Nueve Parámetros del Índice de Calidad de Agua en los Puntos de Control Establecidos en la Red Hidrológica de la Ciudad de Chiquimula.



Anexo 6. Graficas que muestran los Resultados Obtenidos en cada uno de los Nueve Parámetros del Índice de Calidad de Agua en los Puntos de Control Establecidos en la Red Hidrológica de la Ciudad de Chiquimula.



Oxígeno Disuelto del Agua en la Red Hidrológica de la Ciudad de Chiquimula

