

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Occidente
División de Ciencia y Tecnología
Ingeniería en Gestión Ambiental Local

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS CHILIL, CUCUL Y
SANTA ROSA DEL MUNICIPIO DE SAN BARTOLOMÉ JOCOTENANGO,
DEPARTAMENTO DE EL QUICHÉ Y PROPUESTA PARA SU GESTIÓN.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Presentado a las autoridades de la División de Ciencia y Tecnología del Centro
Universitario de Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Por:

PRISCILA ISABEL IXCOTOYAC CABRERA

Previo a conferírsele el título de:

INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

En el grado académico de:

LICENCIADA

Asesor:

PhD. Luis Arturo Sánchez Midence

Quetzaltenango, Marzo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE

AUTORIDADES

Rector Magnífico
Secretario General

Dr. Carlos G. Alvarado Cerezo
Dr. Carlos Enrique Caméy Rodas

CONSEJO DIRECTIVO

Directora General del CUNOC
Secretario Administrativo

MSc. María del Rosario Paz Cabrera
MSc. Silvia del Carmen Recinos

REPRESENTANTES DE LOS DOCENTES

Ing. Agr. MSc. Héctor Alvarado Quiroa
Ing. Edelman Monzón López

REPRESENTANTES DE LOS ESTUDIANTES

Br. Luis Ángel Estrada García
Br. Julia Hernández de Domínguez

REPRESENTANTE DE LOS EGRESADOS

Lic. Vilma Tatiana Cabrera Alvarado

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Lic. Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez

COORDINADOR DE LA CARRERA DE GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

Ing. Agr. MSc. Julio López Valdez

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXÁMEN TÉCNICO PROFESIONAL

PRESIDENTE:

Lic. Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez

EXAMINADORES:

Inga. Agr. MSc. Aura Hernández

Ing. Agr. MSc. Juan Bolaños

Ing. Agr. MSc. Julio López Valdez

SECRETARIO

Inga. Agr. MSc. Aura Hernández

NOTA: “Únicamente el autor es responsable de las doctrinas y opiniones sustentadas en la presente investigación” (Artículo 31 del Reglamento para Exámenes Técnicos Profesionales del Centro Universitario de Occidente. Y Artículo 19 de Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala).

Quetzaltenango, Marzo de 2017

Quetzaltenango, Marzo de 2017

Honorable Consejo Directivo
Honorable Autoridades de la División de Ciencia y Tecnología
Honorable Mesa del Acto de Graduación y Juramentación

De conformidad con las normas que establece la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, del reglamento general de evaluación y promoción del estudiante del Centro Universitario de Occidente; tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS CHILIL, CUCUL Y SANTA ROSA DEL MUNICIPIO DE SAN BARTOLOMÉ JOCOTENANGO, DEPARTAMENTO DE EL QUICHÉ Y PROPUESTA PARA SU GESTIÓN.

Como requisito para optar al título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local en el grado académico de Licenciada.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

PRISCILA ISABEL IXCOTOYAC CABRERA



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE
DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
www.cytacunoc.org



Quetzaltenango, 23 de febrero de 2017

Lic. Roberto Méndez
Director de División
División de Ciencia y Tecnología
CUNOC.

Estimado Licenciado:

De manera atenta me dirijo a Usted para hacer de su conocimiento que, de acuerdo al nombramiento que me hiciera, he concluido la asesoría de la estudiante de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local **PRISCILA ISABEL IXCOTOYAC CABRERA**, carné 2172 41166 1401, y registro académico 201230744, titulado:

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS
CHILIL, CUCUL Y SANTA ROSA, DEL MUNICIPIO DE SAN BARTOLOMÉ
JOCOTENANGO, DEPARTAMENTO DE
EL QUICHÉ Y PROPUESTA PARA SU GESTIÓN”**

En tal sentido, me permito informarle que el trabajo en mención reúne los requisitos exigidos por nuestra Universidad para su publicación, así como constituye un aporte valioso para la determinación de usos y gestión de los recursos hídricos estudiados en la presente investigación.

Sin otro particular, y agradeciendo de antemano la atención que se sirva brindar a la presente, me permito suscribirme, atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

PhD. Luis Arturo Sánchez Midence
Asesor

Luis Arturo Sanchez Midence
Dr. Ingeniero Agrónomo
Coligado 1335



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE
DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
www.cytacunoc.org



Quetzaltenango 27 de febrero 2017.

Lic. Roberto Méndez
Director División de Ciencia y Tecnología
Centro Universitario de Occidente.

Distinguido Director:

En atención al nombramiento emitido por esa dirección, me es grato informarle que he concluido la revisión del trabajo de investigación de la estudiante **PRISCILA ISABEL IXCOTOYAC CABRERA**, quien presentó la investigación titulada:

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS CHILIL, CUCUL Y SANTA ROSA DEL MUNICIPIO DE SAN BARTOLOMÉ JOCOTENANGO, DEPARTAMENTO DE EL QUICHÉ Y PROPUESTA PARA SU GESTIÓN”.

Por lo cual me permito manifestarle, que el presente estudio cumple con los requisitos establecidos por los normativos de los trabajos de graduación de la Tricentennial Universidad de San Carlos de Guatemala, además de ser un valioso aporte para el desarrollo de las comunidades rurales de nuestro país, en tanto brinda valiosa información con la aplicación de innovadora tecnología de punta.

Por lo que recomiendo su publicación.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Agr. MSc. Juan Alfredo Bolaños González

REVISOR

Colegiado No. 2,777

Juan A. Bolaños González
INGENIERO AGRÓNOMO
Colegiado No. 2,777



**CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE
DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGIA**

El infrascrito **DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGIA**

Del Centro Universitario de Occidente ha tenido a la vista la **CERTIFICACIÓN DEL ACTA DE GRADUACIÓN** No. 002-GAL-2017 de fecha dos de marzo del año dos mil diecisiete del (la) estudiante: PRISCILA ISABEL IXCOTOYAC CABRERA

con Carné No 2172411661401 Registro Académico No. 201230744 emitida por el Coordinador de la Carrera de **GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL** , por lo que se **AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN** titulado: “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RIOS CHILIL, CUCUL, SANTA ROSA DEL MUNICIPIO DE SAN BARTOLOME JOCOTENANGO, DEPARTAMENTO DE EL QUICHÉ Y PROPUESTA PARA SU GESTIÓN .”

Quetzaltenango, 02 de marzo de 2017.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez
Director de División de Ciencia y Tecnología

DEDICATORIA

A DIOS

Nuestro Señor por darme la vida, la perseverancia y la inteligencia para poder alcanzar esta meta.

A MI TÍO

Marco Tulio Cabrera Rodríguez (q.e.p.d.) quien descansa en los brazos del Señor, sé que si me viera culminar esta meta estaría muy orgulloso de mí.

A MIS PADRES

Antonio Ixcotoyac por haberme brindado su apoyo a lo largo de estos años de estudio y en especial a mi madre Geny Cabrera por el apoyo, los consejos, el amor, la comprensión y por enseñarme a ser una mujer luchadora que siempre consigue salir adelante.

A MIS HERMANOS

Antonio y Eddy por ser el ejemplo y la fuente de inspiración para poder alcanzar esta meta.

A MI HERMANA

Valeria por ser el motor que me inspira a ser mejor persona para dejar huellas que en un futuro anhele seguir.

AL FUTURO ING. AGR.

Henry Díaz por añadir a mi vida universitaria un toque de locura, felicidad y amor. Ha sido una dicha compartir con usted cada detalle de esta etapa de mi vida y le agradezco por tomar mi mano y motivarme a continuar cuando muchas veces de camino hacia la meta estuve sin fuerzas para avanzar.

AGRADECIMIENTOS

AL CUNOC

Por abrirme las puertas para poder realizar mis estudios universitarios y por haberme brindado lo necesario para hacer de mi un profesional de éxito.

A MI FAMILIA

Por el apoyo y amor incondicional que me han brindado a lo largo de los años.

A MI CONGREGACIÓN

Iglesia Evangélica Pentecostés de Cristo “Hombres de Poder” por elevar siempre sus oraciones a Dios Nuestro Señor para que pudiera alcanzar esta meta.

A MIS CATEDRÁTICOS

Por contribuir en mi formación académica y profesional. En especial al PhD. Luis Sánchez y al Ing. Agr. Juan Bolaños por su amistad, sus consejos y el apoyo que me brindaron durante mi vida universitaria.

A LA MANCOSEQ

Por el abrirme las puertas para la realización del EPS, en especial al gerente general Lic. Luciano Ventura por su apoyo incondicional.

A LA MUNICIPALIDAD

De San Bartolomé Jocotenango por darme la oportunidad de llevar a cabo la presente investigación, en especial al director de la Unidad de Gestión Ambiental Municipal Rafael Calel por su apoyo en la coordinación de las actividades de campo.

A MIS AMIGOS

Por la amistad y el apoyo que me han brindado a lo largo de los años, en los cuales hemos compartir buenos y malos momentos.

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS CHILIL, CUCUL Y
SANTA ROSA DEL MUNICIPIO DE SAN BARTOLOMÉ JOCOTENANGO,
DEPARTAMENTO DE EL QUICHÉ Y PROPUESTA PARA SU GESTIÓN.**

RESUMEN

El municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché es atravesado por tres ríos principales (Chilil, Cucul y Santa Rosa) de los cuales se desconoce la calidad del agua, existiendo el supuesto de estar contaminados por la disposición de desechos sólidos y líquidos, y actividades agropecuarias en sus riberas. Se evaluó la calidad del agua de los ríos por medio del estudio de sus características fisicoquímicas y biológicas (bióticas y bacteriológicas); se establecieron nueve estaciones de monitoreo en diferentes puntos del recorrido de los ríos, realizando tres monitoreos, tomando los siguientes datos: en el estudio de las características fisicoquímicas se tomaron valores in situ de conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura y muestras de agua para determinar los valores en laboratorio de demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales; estos cinco parámetros fueron agrupados en una ecuación matemática para obtener el valor del Índice Simplificado de la Calidad de Agua, los valores obtenidos en las estaciones de monitoreo están en un rango de 26 a 50, lo cual corresponde a una categoría de calidad mala, la cual agrupa aguas de apariencia contaminada y de fuerte olor. Para las características bióticas se tomaron muestras de macroinvertebrados bentónicos identificando estos a nivel taxonómico de familia y asignándoles valores numéricos que fueron agrupados en una ecuación matemática para obtener el valor del índice Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica, los valores obtenidos en las estaciones de monitoreo se encuentran en dos rangos que son: de 36 a 60 (lo cual corresponde a una categoría de calidad regular, la cual agrupa aguas de calidad mala, contaminadas) y valores de 16 a 35 (lo cual corresponde a una categoría de calidad crítica, la cual agrupa aguas de calidad mala, muy contaminadas); y para las características bacteriológicas se tomaron muestras de agua para determinar los valores en laboratorio de coliformes totales, dando como resultado que los valores obtenidos no satisfacen la norma COGUANOR; por lo tanto de acuerdo a las características fisicoquímicas y biológicas evaluadas se determinó que las aguas de los ríos bajo estudio no son aptas para el consumo humano, ni para el empleo en actividades agrícolas.

Palabras claves: ríos, agua, calidad, índices, fisicoquímicas, macroinvertebrados bentónicos, coliformes totales.

ABSTRACT

The municipality of San Bartolomé Jocotenango, department of El Quiché is crossed by three main rivers (Chilil, Cucul and Santa Rosa) of which the water quality is unknown, assuming that the rivers are contaminated by the disposal of solid and liquid wastes, and agricultural activities on its banks. The water quality of the rivers was evaluated through of the study of their physicochemical and biological characteristics (biotic and bacteriological); nine monitoring stations were set up at different points along the rivers, and three monitoring were done taking the following data: in the study of physicochemical characteristics in situ values of electrical conductivity, dissolved oxygen, temperature and water samples were taken to determine the values in the laboratory of chemical oxygen demand and total suspended solids; these five parameters were grouped in a mathematical equation to obtain the value of the Simplified Water Quality Index, the values obtained in the monitoring stations are in the range of 26 to 50, which corresponds to a bad quality category, which includes waters with a contaminated appearance and strong odor. For the biotic characteristics samples of benthic macroinvertebrates were collected, identifying them at the family taxonomic level and assigning them numerical values that were grouped in a mathematical equation to obtain the value of the modified Biological Monitoring Working Party index for Costa Rica, the values obtained in the monitoring stations are in two ranges that are: from 36 to 60 (which corresponds to a category of regular quality, which groups poor quality water, contaminated) and values from 16 to 35 (which corresponds to a category of critical quality, which brings together poor quality water, highly contaminated); and for the bacteriological characteristics water samples were collected to determine in the laboratory the values of faecal coliforms, determining that the values obtained did not satisfy the COGUANOR standard; therefore according to the physicochemical and biological characteristics evaluated, it was determined that the waters of the rivers under study are not suitable for human consumption, nor for use in agricultural activities.

Key words: rivers, water, quality, indices, physicochemical, benthic macroinvertebrates, total coliforms.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	17
1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	18
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	18
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	19
1.4 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	19
1.5 OBJETIVOS DEL ESTUDIO	20
1.5.1 <i>General</i>	20
1.5.2 <i>Específicos</i>	20
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	21
2.1 CONCEPTOS GENERALES	21
2.1.1 <i>Clasificación de los cuerpos de agua</i>	21
2.1.2 <i>Calidad del agua</i>	21
2.1.3 <i>Contaminación hídrica</i>	21
2.1.4 <i>Descripción de la cuenca</i>	21
2.2 CONCEPTOS DE MONITOREO	22
2.2.1 <i>Definición de monitoreo ambiental del agua</i>	22
2.2.2 <i>Monitoreo para parámetros fisicoquímicos</i>	22
2.2.3 <i>Monitoreo para parámetros biológicos</i>	22
2.3 CONCEPTOS DE DIFERENTES ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA	23
2.3.1 <i>Definición de índices de calidad del agua</i>	23
2.3.2 <i>Índices fisicoquímicos</i>	23
2.3.3 <i>Índices biológicos</i>	24
2.4 CONCEPTOS DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DE AGUA (ISQA)	25
2.4.1 <i>Definición del ISQA</i>	25
2.4.2 <i>Método para la determinación del ISQA</i>	25
2.4.3 <i>Interpretación del ISQA</i>	26
2.5 CONCEPTOS DEL ÍNDICE BIÓTICO BMWP (BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY).....	26
2.5.1 <i>Definición del BMWP</i>	26
2.5.2 <i>Modificaciones del BMWP</i>	26
2.5.3 <i>Definición del BMWP-CR</i>	27
2.5.4 <i>Método para la determinación del BMWP-CR</i>	27
2.5.5 <i>Interpretación del BMWP-CR</i>	29
2.6 CONCEPTOS DE LA NORMA COGUANOR NTG 29001	29
2.6.1 <i>Campo de aplicación</i>	29
2.6.2 <i>Agua apta para consumo humano</i>	29
2.6.3 <i>Características microbiológicas del agua</i>	29
2.6.4 <i>Límites de las características microbiológicas</i>	30
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	31
3.1 DEFINICIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN UTILIZADO.....	31
3.1.1 <i>Enfoque de la investigación</i>	31
3.1.2 <i>Método de la investigación</i>	31

3.2	CONTEXTO ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA INVESTIGACIÓN	31
3.2.1	<i>Contexto espacial</i>	31
3.2.2	<i>Contexto temporal</i>	31
3.3	HIPÓTESIS NULA Y ALTERNATIVA	31
3.3.1	<i>Hipótesis nula</i>	31
3.3.2	<i>Hipótesis alternativa</i>	32
3.4	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	32
3.4.1	<i>Clasificación en independientes y dependientes</i>	32
3.4.2	<i>Definición conceptual, operativa e instrumental</i>	32
3.5	OBJETO DE ESTUDIO	34
3.6	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	34
3.6.1	<i>Primarias</i>	34
3.6.2	<i>Secundarias</i>	35
3.7	TÉCNICAS Y EQUIPOS QUE SE UTILIZARON EN LA RECOPIACIÓN DE DATOS.....	35
3.8	VALIDEZ DE LOS DATOS DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.9	PASOS DEL TRABAJO DE CAMPO.....	37
3.10	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	38
CAPITULO IV: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS		41
4.1	ESTACIONES DE MONITOREO	41
4.2	ÍNDICE SIMPLIFICADO DE LA CALIDAD DE AGUA.....	42
4.2.1	<i>Transformación de parámetros</i>	42
4.2.2	<i>Cálculo del índice</i>	44
4.2.3	<i>Interpretación del ISQA</i>	45
4.3	ÍNDICE BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY MODIFICADO PARA COSTA RICA	46
4.3.1	<i>Identificación y valoración de macroinvertebrados bentónicos</i>	46
4.3.2	<i>Cálculo del índice</i>	50
4.3.3	<i>Interpretación del índice BMWP-CR</i>	51
4.4	ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO.....	52
4.4.1	<i>Coliformes totales</i>	52
4.4.2	<i>Interpretación del análisis bacteriológico</i>	52
4.5	ANÁLISIS DE LOS DATOS	52
4.6	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	53
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		55
5.1	CONCLUSIONES	55
5.2	RECOMENDACIONES	56
5.2.1	<i>Mancomunidad de Municipios del Corredor Seco del Departamento de El Quiché (MANCOSEQ)</i>	56
5.2.2	<i>Municipalidad de San Bartolomé Jocotenango</i>	56
5.2.3	<i>Pobladores del municipio de San Bartolomé Jocotenango</i>	57
CAPITULO VI: PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DE LOS RÍOS CHILIL, CUCUL Y SANTA ROSA DEL MUNICIPIO DE SAN BARTOLOMÉ JOCOTENANGO, DEPARTAMENTO DE EL QUICHÉ		58
5.1	INTRODUCCIÓN.....	58

5.2	METAS.....	58
5.3	OBJETIVOS.....	59
5.3.1	<i>General</i>	59
5.3.2	<i>Específicos</i>	59
5.4	JUSTIFICACIÓN.....	59
5.5	MARCO LEGAL QUE RESPALDA LA PRESENTE PROPUESTA.....	60
5.5.1	<i>Constitución Política de la República de Guatemala</i>	60
5.5.2	<i>Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto No. 68-86</i>	61
5.5.3	<i>Código Municipal, Decreto No. 22-2010</i>	62
5.5.4	<i>Código de Salud, Decreto No. 90-97</i>	64
5.6	ACTIVIDADES A DESARROLLAR.....	67
5.7	EVALUACIÓN.....	73
5.8	BÚSQUEDA DE ALIANZAS ESTRATÉGICAS.....	77
5.9	FUENTES DE FINANCIAMIENTO.....	78
5.10	IMPACTO DEL PROYECTO.....	78
5.11	POBLACIÓN BENEFICIARIA DIRECTA.....	78
5.12	POBLACIÓN BENEFICIARIA INDIRECTA.....	78
5.13	EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN EL CORTO Y MEDIANO PLAZO.....	78
IV.	BIBLIOGRAFÍA.....	79
IV.	ANEXOS.....	81
5.1	ANEXO No.1: LISTA DE CHEQUEO CON EQUIPO Y MATERIALES EMPLEADOS EN LOS MONITOREOS.....	81
5.2	ANEXO No.2: FORMATO PARA PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.....	82
5.3	ANEXO No.3: FORMATO PARA PARÁMETROS BIÓTICOS.....	82
5.4	ANEXO No.4: FORMATO PARA PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS.....	83
5.5	ANEXO No.5: ILUSTRACIÓN DE LAS PARTES DE LOS MACROINVERTEBRADOS.....	83
5.6	ANEXO No.6: MAPAS.....	84
5.7	ANEXO No.7: FOTOGRAFÍAS.....	96
5.8	ANEXO No.8: CRONOGRAMA.....	108
5.9	ANEXO No. 9: PRESUPUESTO.....	108

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1: CODIFICACIÓN DE LAS CUENCAS POR EL MÉTODO PFAFSTETTER.....	22
CUADRO 2: CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE ACUERDO AL ISQA.....	26
CUADRO 3: VALORACIÓN DE FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS PARA EL BMWP-CR.	27
CUADRO 5: CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE ACUERDO AL BMWP-CR.	29
CUADRO 6: VALORES GUÍA PARA VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA.....	30
CUADRO 7: CLASIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.	32
CUADRO 8: DEFINICIÓN CONCEPTUAL, OPERATIVA E INSTRUMENTAL DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES.	32
CUADRO 10: DEFINICIÓN CONCEPTUAL, OPERATIVA E INSTRUMENTAL DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES.	34
CUADRO 11: ESTACIONES DE MONITOREO.	41
CUADRO 12: DATOS DE TEMPERATURA.	42
CUADRO 13: DATOS DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.	42
CUADRO 14: DATOS DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.	43
CUADRO 15: DATOS DE OXÍGENO DISUELTO.	43
CUADRO 16: DATOS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.	44
CUADRO 17: VALOR DEL ISQA POR MONITOREO.	44
CUADRO 18: VALOR PROMEDIO DEL ISQA.....	45
CUADRO 19: CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE ACUERDO AL VALOR DEL ISQA OBTENIDO.	45
CUADRO 20: CLASIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS.	46
CUADRO 25: VALOR DEL ÍNDICE BMWP-CR POR MONITOREO.	50
CUADRO 26: VALOR PROMEDIO DEL ÍNDICE BMWP-CR.....	51
CUADRO 27: CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE ACUERDO AL VALOR DEL ÍNDICE BMWP-CR OBTENIDO.....	51
CUADRO 28: RESULTADOS DEL ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO.....	52
CUADRO 29: ACTIVIDADES A DESARROLLAR PARA LA PROPUESTA DE LA GESTIÓN DE LOS RÍOS CHILIL, CUCUL Y SANTA ROSA DEL MUNICIPIO DE SAN BARTOLOMÉ JOCOTENANGO.	67
CUADRO 35: EVALUACIÓN DE LAS ACTIVIDADES A DESARROLLAR PARA LA PROPUESTA DE LA GESTIÓN DE LOS RÍOS CHILIL, CUCUL Y SANTA ROSA DEL MUNICIPIO DE SAN BARTOLOMÉ JOCOTENANGO.....	73

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

En los resultados del diagnóstico ambiental del municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché, se detectaron diferentes problemáticas ambientales, una de las cuales permitió proponer la presente investigación titulada “*Evaluación de la calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché y propuesta para su gestión*”, con la finalidad de contribuir a solucionar problemas relacionados al recurso hídrico, siendo uno de ellos la evaluación de la calidad del agua de las fuentes superficiales que se encuentran dentro del municipio, y así determinar el uso adecuado de estas y contrarrestar la carencia de agua que existe en el mismo, especialmente porque este es parte del corredor seco, por lo que es importante conocer el estado de las fuentes de agua y partiendo de ello desarrollar actividades para su conservación, protección y recuperación.

La evaluación de la calidad del agua se realizó a través del estudio de sus características fisicoquímicas, haciendo uso de un índice fisicoquímico, y sus características biológicas, haciendo uso de un índice biótico y un análisis bacteriológico. Los índices permitieron agrupar los parámetros que estos utilizaron para el análisis en un valor adimensional, el cual fue interpretado por medio de estadística descriptiva para determinar la calidad del agua de las fuentes bajo estudio. Esto fue complementado con el análisis bacteriológico, el cual respaldó los datos que se obtuvieron con los índices y permitió determinar la existencia de contaminación por coliformes totales.

El índice fisicoquímico que fue utilizado es el Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA), el cual utiliza cinco parámetros que son: temperatura, conductividad eléctrica, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto y sólidos suspendidos totales, este permitió que se determinara la calidad del agua para momentos puntuales. Para lograr una evaluación más amplia de la calidad del agua se utilizó el índice biótico denominado Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica (BMWP-CR), mismo que utiliza la identificación de macroinvertebrados bentónicos a nivel taxonómico de familia, para determinar la calidad del agua para momentos más amplios.

Los resultados obtenidos reflejan que en base a las características fisicoquímicas y biológicas que se evaluaron las aguas de los ríos bajo estudio no son aptas para el consumo humano, ni para el empleo en actividades agrícolas; puesto que los valores que se obtuvieron del índice fisicoquímico evidencian que las aguas son de mala calidad y los valores que se obtuvieron del índice biótico evidencian que las aguas se encuentran en un estado crítico y regular de contaminación; finalmente los valores que se obtuvieron del análisis bacteriológico refleja que las aguas presentan una alta contaminación por coliformes totales, determinando que el principal foco de contaminación es el desfogue de aguas residuales lo cual posibilitó la elaboración de una propuesta para la gestión de los ríos al identificar las acciones antrópicas que se desarrollan en sus riberas.

1.1 Antecedentes del problema

El agua dulce representa, a nivel mundial, un recurso limitado, solamente el tres por ciento del total de agua existente en el planeta entra en esta categoría, la cual es aprovechada para diferentes usos por los seres humanos; dentro de ellos, los usos más importantes son el consumo y el riego de cultivos agrícolas, lo cual evidencia que el agua es un recurso natural indispensable para el ser humano. Según un reporte realizado por World Wildlife Fund, a nivel mundial (Casal, 2012), más de la mitad de los ríos del mundo están contaminados, y una de las causas de esta contaminación que más sobresale, es el mal manejo de los desechos sólidos; se estima que alrededor de dos millones de toneladas de desperdicios se tiran cada día en los ríos a nivel mundial (InspiraAction, s.f.); otra de las causas es el desfogue de aguas residuales en diferentes puntos del recorrido de los ríos y, finalmente, cabe mencionar que en muchos países no existen normativas, ni propuestas que regulen el aprovechamiento de las aguas y las actividades que puedan realizarse en las riberas de los ríos. Todos estos factores contribuyen a que cada vez haya menos agua de calidad disponible en el planeta, afectando a los ecosistemas y a las personas que se encuentran en torno a los cuerpos de agua, especialmente a las de escasos recursos económicos que viven en condiciones de pobreza y pobreza extrema, debido a que las mismas no cuentan con los recursos económicos para obtener agua de fuentes confiables.

Según un reporte realizado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (Carrera, Gálvez, & López, 2009), se tiene un registro de que, a nivel nacional, 14 de las de 38 cuencas, están altamente contaminados; las estadísticas evidencian que a nivel nacional existen problemas de cantidad y de calidad de las aguas. El municipio de San Bartolomé Jocotenango, es atravesado por los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa, en diferentes puntos de sus recorridos hay disposición de desechos sólidos y líquidos, además de prácticas de pastoreo en sus riberas. En consecuencia, los pobladores no utilizan estas fuentes para consumo, ni en actividades como el regadío de cultivos agrícolas.

1.2 Planteamiento del problema de investigación

El municipio de San Bartolomé Jocotenango está ubicado en el corredor seco, a pesar de esto tanto las autoridades como los pobladores, le han dado poca importancia a los recursos hídricos que se encuentran dentro de su territorio; debiéndole prestar especial atención a la situación de escasez de agua a la que se enfrentan los pobladores del lugar; por lo que es necesario conocer el estado de las fuentes de agua y así poder elaborar una propuesta para la gestión de este recurso. Actualmente los pobladores consideran que los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa podrían ser una alternativa de abastecimiento, sin embargo se carecen de los estudios técnicos que indiquen cual es la calidad de las aguas de dichos ríos, pero los pobladores consideran que estos se encuentran contaminados debido a las acciones antrópicas que se realizan en sus riberas, tales como disposición de desechos sólidos y líquidos y, pastoreo de ganado en diferentes puntos de su recorrido; por lo que actualmente las aguas de dichos ríos no son utilizadas. En tal sentido, se considera necesario realizar estudios técnicos para verificar la calidad del agua de los ríos mencionados, puesto que dichos análisis no solo permitirían establecer claramente la calidad de las aguas de los ríos en mención, sino que también posibilitarían establecer el uso que los pobladores podrían hacer de ellas, así como plantear una propuesta para la gestión de los ríos estudiados.

1.3 Justificación del estudio

A nivel mundial, existen problemas de contaminación de las aguas superficiales, lo cual agrava la problemática de escasez de agua para consumo, que afecta a millones de personas. Los pobladores del municipio de San Bartolomé Jocotenango también se ven afectados por esta situación, agravándose en los períodos de sequía que cada año son más pronunciados, principalmente en la carencia de agua para riego, lo que provoca pérdidas agrícolas que aumentan los índices de desnutrición y pobreza presentes en el área. Esta situación podría contrarrestarse haciendo un uso sostenible del agua de los ríos que atraviesan el municipio ya que, al ser estudiados, podría determinarse el uso adecuado que puede hacerse de las aguas de los mismos; así como plantear una propuesta para su gestión.

Con la presente investigación se logró evaluar si es posible utilizar el agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa para consumo y/o riego de cultivos agrícolas con la finalidad de que los pobladores tengan una fuente alterna de abastecimiento de agua, y mantengan la producción de cultivos agrícolas destinados al autoconsumo, mejorando su calidad de vida. Partiendo de lo anterior, fue necesario realizar análisis que pudieran reflejar cual es el estado actual de dichos recursos y, sustentado en los resultados que se obtuvieron, se planteó una propuesta para orientar a la municipalidad y a los pobladores sobre las acciones necesarias para realizar una gestión en el contexto en donde se encuentran los tres ríos principales que atraviesan el municipio.

Esto se logró a través del estudio de las características fisicoquímicas y biológicas de las aguas de los tres ríos principales, haciendo uso de dos índices de calidad del agua, los cuales son: Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA) el cual es un indicador específico de la calidad del agua y el índice biótico denominado Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica (BMWP-CR) el cual es un indicador del estado en el que se encuentra el ecosistema, complementando el estudio con un análisis bacteriológico, lo cual permitió conocer en un corto plazo cual es la calidad del agua y cuál es el uso adecuado que puede hacerse de las aguas de los tres ríos principales; también, al realizar la identificación de los focos de contaminación y analizar el efecto que tienen las actividades antrópicas que se desarrollan en torno a los ríos estudiados sobre la calidad del agua de los mismos y, de esta forma, elaborar una propuesta para la gestión del recurso hídrico.

1.4 Hipótesis de investigación

H₁: La calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché, de acuerdo a los parámetros fisicoquímicos y biológicos que presenta es adecuada para el consumo humano y empleo en actividades agrícolas.

1.5 Objetivos del estudio

1.5.1 General

- Evaluar la calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché y elaborar una propuesta para su gestión.

1.5.2 Específicos

- Establecer las características fisicoquímicas y biológicas de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché.
- Determinar el uso adecuado que puede dársele al agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché.
- Formular una propuesta para la gestión de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos generales

2.1.1 Clasificación de los cuerpos de agua

Se clasifican en dos grandes grupos que son: aguas subterráneas y aguas superficiales, estas últimas son aquellas que se encuentran ya sea en reposo o circulando sobre la superficie de la tierra, y de acuerdo a esto se dividen en lénticas y lólicas, estas últimas son aquellas aguas que se mueven siempre en una misma dirección y dentro de esta clasificación se encuentran los ríos los cuales serán el objeto de estudio en la presente investigación; los cuales son una corriente de agua que fluye con continuidad y siempre por gravedad, discurre de las partes altas hacia las bajas, posee un caudal determinado y finalmente desemboca en el mar, en un lago o en otro río; pero algunas veces termina en zonas desérticas, donde sus aguas se pierden por infiltración y evaporación (Pari Huaira, 2012).

2.1.2 Calidad del agua

Se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a las características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano; es un factor que incide directamente en la salud de los ecosistemas y el bienestar humano, de ella depende la biodiversidad, la calidad de los alimentos, las actividades económicas, etc. Por lo general la calidad del agua se determina comparando las características físicas, químicas y biológicas de una muestra de agua con directrices de calidad del agua o estándares previamente establecidos (Toledo, s.f.).

2.1.3 Contaminación hídrica

La contaminación hídrica no es más que la acción y el efecto de introducir de manera directa o indirecta algún material ajeno (contaminante) al agua de manera que este afecte su calidad y composición en relación con los usos posteriores o sus servicios ambientales; se dice que el agua está contaminada cuando su composición es modificada de tal forma que no reúne las condiciones necesarias para el uso que se le hubiera destinado en su estado natural (InspirAction, s.f.).

2.1.4 Descripción de la cuenca

Los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa que atraviesan el municipio de San Bartolomé Jocotenango y que fueron los objetos de estudio en la presente investigación son un segmento de la subcuenca del río Chilil, la cual forma parte de la cuenca del río Salinas, la cual pertenece a la vertiente del golfo de México.

Es importante mencionar que el río Santa Rosa es absorbido por el río Cucul, luego este es absorbido por el río Chilil, el cual continúa su recorrido hacia el municipio de San Andrés Sajcabajá del departamento de El Quiché.

De acuerdo al método Pfafstetter los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa están codificados como se indica en el siguiente cuadro.

Cuadro 1: Codificación de las cuencas por el método Pfafstetter.

Nombre de la Cuenca	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5		Nivel 6	
Río Salinas	Código	Código	Código	Nombre del río	Código	Nombre del río
	948	9487	94878	Chilil	948785	Santa Rosa
					948787	Cucul

Fuente: Primera aproximación de la codificación de las cuencas de Guatemala por el método Pfafstetter, página 47 (MAGA, 2009).

2.2 Conceptos de monitoreo

2.2.1 Definición de monitoreo ambiental del agua

El monitoreo ambiental es una medición uniforme y observación del medio ambiente en forma continua o frecuente que, por lo general, tienen fines de prevención y control (Camacho Bareiro & Ariosa Roche, 2000); de esta definición podemos inferir en que, el monitoreo ambiental del agua consiste en observar y medir las características físicas, químicas y biológicas de un cuerpo de agua determinado, con la finalidad de evaluar su calidad y establecer el tratamiento para preservar o restaurar su calidad.

2.2.2 Monitoreo para parámetros fisicoquímicos

Este tipo de monitoreo consiste en evaluar diversos parámetros fisicoquímicos del agua, que permiten relacionar los parámetros evaluados con la presencia de ciertos agentes contaminantes. Este puede llegar a ser muy rápido, lo cual permite que en el corto plazo se tenga un acercamiento de la calidad del agua que se está evaluando, por lo que se obtienen como resultados solo valores puntuales, pero sus resultados no dicen nada acerca de sus efectos a corto o largo plazo, por ello debe acompañarse de una evaluación de parámetros biológicos que permitan obtener una evaluación más completa de la calidad del agua bajo estudio (Acuña Campos, 2013).

2.2.3 Monitoreo para parámetros biológicos

Este tipo de monitoreo consiste en el uso regular y sistemático de organismos vivos para monitorear o determinar la calidad ambiental. Este brinda información acerca de las relaciones entre las condiciones ambientales y el mundo vivo, por lo que permite realizar un análisis a largo plazo (Acuña Campos, 2013).

2.3 Conceptos de diferentes índices de calidad del agua

2.3.1 Definición de índices de calidad del agua

Los índices de calidad del agua son herramientas que permiten asignar un valor de calidad al medio a partir del análisis de diferentes parámetros; su combinación da una visión más precisa del estado ecológico y del estado del medio biológico. Estos consisten básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, los cuales sirven como una medida de la calidad del agua. Su ventaja radica en que puede ser más fácilmente interpretado que una lista de valores numéricos, ya que es representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color (Roldan, 2010).

Los índices se clasifican de acuerdo a los parámetros que se utilizan para calcularlo; a continuación se describen los índices fisicoquímicos y biológicos, que son los que nos interesan para el presente estudio.

2.3.2 Índices fisicoquímicos

Se basan en la combinación de diferentes análisis para proporcionar una visión completa de la calidad del agua, ya que permiten obtener un valor numérico que agrupa las magnitudes de los parámetros evaluados (Roldan, 2010); a continuación se describen los más utilizados:

- a) ***Índice de Calidad General (ICG)***: Es un valor adimensional obtenido a partir de 23 parámetros procesados mediante ecuaciones lineales, de los cuales 9 se utilizan siempre (básicos) y 14 según su influencia en la calidad (complementarios). Los 9 parámetros básicos son: coliformes totales, conductividad, DBO, DQO-Mn, fósforos totales, sólidos en suspensión, nitratos, oxígeno disuelto y pH (Méndez Spiegeler, 2015).
- b) ***Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA)***: Es un índice que precisa ser completado con otros índices para obtener una visión real de la situación. Se obtiene a partir de una fórmula que combina cinco parámetros fisicoquímicos, los cuales son: temperatura, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica y sólidos en suspensión (Méndez Spiegeler, 2015).
- c) ***Índice Automático de Calidad de Aguas (IAQA)***: Es una variante del ISQA, la variante es que utiliza el carbono orgánico total en lugar de la demanda química de oxígeno y también utiliza la turbidez en lugar de los sólidos en suspensión totales (Méndez Spiegeler, 2015); esta variante permite que el análisis pueda llevarse a cabo de dos formas distintas, de acuerdo al equipo y recursos económicos con que se cuenten.

2.3.3 Índices biológicos

Los índices biológicos permiten obtener un valor numérico que expresa el efecto de la contaminación sobre una comunidad biológica y se basan en la capacidad de los organismos de reflejar las características o condiciones ambientales del medio en el que se encuentran. La presencia o ausencia de una especie o familia de un individuo biológico, así como su densidad o abundancia es lo que se va a usar como indicador de la calidad. La mayor diferencia con los índices fisicoquímicos es que permiten indicar el estado del agua en un periodo prolongado de tiempo definido por la duración del ciclo vital de cada individuo, magnitud de colonias, etc., pero, por el contrario, es imposible identificar los agentes contaminantes existentes, por lo que su utilización es complementaria y no sustitutiva a los índices fisicoquímicos (Roldan, 2010).

Los índices biológicos se dividen de acuerdo a los organismos que se estudien, y al grado de análisis que se haga de ellos; a continuación se describen los índices bióticos, que son los que nos interesan para el presente estudio.

- a) **Índices bióticos:** son específicos para un tipo de contaminación y/o región geográfica, y se basan en el concepto de organismo indicador. Permiten la valoración del estado ecológico de un ecosistema acuático afectado por un proceso de contaminación. Para ello a los grupos de invertebrados de una muestra se les asigna un valor numérico en función de su tolerancia a un tipo de contaminación (Acuña Campos, 2013); de acuerdo a los grupos de invertebrados y a la valoración que se haga de ellos, a continuación se describen los más utilizados:
- **Biological Monitoring Working Party (BMWP):** es un índice que se basa en la asignación de una puntaje a las familias de macroinvertebrados acuáticos, de acuerdo al grado de tolerancia a la contaminación, los cuales van comprendidos entre 1 y 10 (Castellon Garay, 2013).
 - **Índice biótico de Trent (TBI):** se utiliza para indicar el grado de tensión producido por las aguas residuales en comunidades animales de río, a partir de las cantidades de taxones y la presencia de especies o grupos claves. Utiliza 6 taxones y la valoración final del agua varía entre 0 (mala) y 15 (buena) (Acuña Campos, 2013).
 - **Índice Chandler:** utiliza 6 grupos, los mismos que Trent, y además emplea un factor de abundancia, en el que cada especie tiene una puntuación que varía según el número de individuos. Es necesario una identificación taxonómica de los macroinvertebrados hasta el nivel de género o especie. La puntuación final del agua varía entre 0 (mala) y un límite superior no definido, aunque se puede decir que si el índice es menor de 300 el agua está contaminada y si está comprendido entre 300 y 3000 el agua está poco contaminada (Acuña Campos, 2013).

2.4 Conceptos del Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA)

2.4.1 Definición del ISQA

Es un índice que precisa ser completado con otros índices. Se obtiene combinando cinco parámetros fisicoquímicos: temperatura, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica. El ISQA tiene valores entre 0 (calidad mínima) y 100 (calidad máxima) (Méndez Spiegeler, 2015).

2.4.2 Método para la determinación del ISQA

Para determinar el valor del ISQA, se deben seguir los pasos que se describen a continuación.

- **Transformación de parámetros:** el valor de cada uno de los parámetros que utiliza el ISQA, para que puedan ser utilizados, se deben transformar de acuerdo a las siguientes observaciones (Méndez Spiegeler, 2015):
 - ✓ Temperatura: si $T \leq 20$ °C entonces $E = 1$; y si $T > 20$ °C entonces $E = 1 - (T - 20) * 0.0125$
 - ✓ Demanda química de oxígeno: si $DQO \leq 10$ mg/l entonces $A = 30 - DQO$; si $60 \text{ mg/l} \geq DQO > 10$ mg/l entonces $A = 21 - (0.35 * DQO)$; si $DQO > 60$ mg/l entonces $A = 0$
 - ✓ Sólidos suspendidos totales: si $SST \leq 100$ mg/l entonces $B = 25 - (0.15 * SST)$; si $250 \text{ mg/l} \geq SST > 100$ mg/l entonces $B = 17 - (0.07 * SST)$; si $SST > 250$ mg/l entonces $B = 0$
 - ✓ Oxígeno disuelto: si $OD < 10$ mg/l entonces $C = 2.5 * OD$; si $OD \geq 10$ mg/l entonces $C = 25$
 - ✓ Conductividad: si $CE \leq 4000$ $\mu\text{S/cm}$ entonces $D = (3.6 - \log CE) * 15.4$; si $CE > 4000$ $\mu\text{S/cm}$ entonces $D = 0$

- **Calculo de índice:** para obtener el valor del índice, los valores transformados se utilizan en la siguiente ecuación: $ISQA = E * (A + B + C + D)$; en dónde (Méndez Spiegeler, 2015):
 - ✓ ISQA: Índice Simplificado de Calidad de Agua
 - ✓ E: Temperatura
 - ✓ A: Demanda química de oxígeno
 - ✓ B: Sólidos suspendidos totales
 - ✓ C: Oxígeno disuelto
 - ✓ D: Conductividad eléctrica

2.4.3 Interpretación del ISQA

Para la interpretación del valor del índice se compara el valor obtenido, con los rangos establecidos en el siguiente cuadro, y de esta forma se obtiene cual es la calidad del agua de acuerdo al ISQA.

Cuadro 2: Clasificación de la calidad del agua de acuerdo al ISQA.

VALOR	CATEGORIA	DESCRIPCIÓN	COLOR
76 a 100	Buena	Aguas claras sin aparente contaminación.	Azul
51 a 75	Regular	Ligero color del agua, con espumas y ligera turbidez del agua, no natural.	Verde
26 a 50	Mala	Apariencia de aguas contaminadas y de fuerte olor.	Amarillo
0 a 25	Pésima	Aguas negras, con proceso de fermentación y olor.	Rojo

Fuente: Aproximación a los sistemas acuáticos lóticos: muestreo, tratamiento de datos e índices de calidad del agua, página 6 (Méndez Spiegeler, 2015).

2.5 Conceptos del índice biótico BMWP (Biological Monitoring Working Party)

2.5.1 Definición del BMWP

El BMWP es un índice de fácil aplicabilidad y utilización; que se basa en la asignación de una puntaje a las familias de macroinvertebrados acuáticos, de acuerdo al grado de tolerancia a la contaminación, los cuales van comprendidos entre 1 (familias muy tolerantes) y 10 (familias intolerantes). La suma de los valores obtenidos proporciona el valor del índice el cual refleja la calidad del agua del punto bajo estudio (Castellon Garay, 2013).

2.5.2 Modificaciones del BMWP

Debido a la fácil aplicación de este índice, se han realizado varias modificaciones del mismo para ser utilizados en diferentes regiones; a continuación se mencionan algunas de las modificaciones que se han hecho de este índice, para países hispanoamericanos.

Una de las primeras modificaciones que se realizó fue la del IBMWP (Iberian Biological Monitoring Working Party, antes llamado BMWP'), el cual, como su nombre lo indica, es utilizado para los cuerpos de agua en la península Ibérica, fue creado por Javier Alba-Tercedor; otra de las modificaciones existentes es la creada por el biólogo colombiano Gabriel Roldán Pérez, el índice que creó es el denominado en algunos textos como BMWP-R (BMWP modificado por Roldán) o como BMWPA (BMWP modificado para Antioquía, Colombia) el cual es utilizado para los cuerpos de agua de Colombia; también está la modificación BMWP-CR (BMWP modificado para Costa Rica), el cual es utilizado para los cuerpos de agua de Centroamérica (Acuña Campos, 2013).

2.5.3 Definición del BMWP-CR

El índice BMWP-CR (Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica) es un índice biótico que se calcula sumando las puntuaciones que se le asignan a las distintas familias de macroinvertebrados bentónicos encontradas, de acuerdo al grado de sensibilidad a la contaminación de cada una de ellas (Acevedo Méndez, y otros, 2013).

2.5.4 Método para la determinación del BMWP-CR

Para determinar el valor del BMWP-CR, se deben seguir los pasos que se describen a continuación.

- **Identificación:** auxiliándose de claves taxonómicas, se procede a la identificación de las muestras de macroinvertebrados bentónicos al nivel taxonómico de familia.
- **Valoración de familias:** auxiliándose de las siguientes tablas para la valoración de familias de macroinvertebrados bentónicos para el BMWP-CR, se le asigna el valor a cada una de las familias de macroinvertebrados bentónicos encontradas.

Cuadro 3: Valoración de familias de macroinvertebrados bentónicos para el BMWP-CR.

VALOR	ORDEN	FAMILIA
9	Odonata	<i>Polythoridae</i>
	Diptera	<i>Blephariceridae; Athericidae</i>
	Ephemeroptera	<i>Heptageniidae</i>
	Plecoptera	<i>Perlidae</i>
	Trichoptera	<i>Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae</i>
8	Ephemeroptera	<i>Leptophlebiidae</i>
	Odonata	<i>Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae</i>
	Trichoptera	<i>Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae</i>
	Blattodea	<i>Blaberidae</i>
7	Trichoptera	<i>Philopotamidae</i>
	Crustacea	<i>Talitridae; Gammaridae</i>
	Coleoptera	<i>Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae;</i>
	Odonata	<i>Gomphidae; Lestidae; Platystictidae; Megapodagrionidae; Protoneuridae;</i>
6	Odonata	<i>Libellulidae</i>
	Megaloptera	<i>Corydalidae</i>
	Trichoptera	<i>Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae</i>
	Ephemeroptera	<i>Euthyplociidae; Isonychidae</i>

Fuente: Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (Arias Sánchez, Dobles Mora, & Ávila Aguero, 2007).

Cuadro 4: Continuación del Cuadro 3.

VALOR	ORDEN	FAMILIA
5	Lepidoptera	<i>Pyrilidae</i>
	Trichoptera	<i>Hydropsychidae; Helicopsychidae</i>
	Coleoptera	<i>Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae</i>
	Ephemeroptera	<i>Leptohyphidae; Oligoneuriidae; Polymitarciidae; Baetidae</i>
	Crustacea	<i>Crustacea</i>
	Tricladida	<i>Turbellaria</i>
4	Coleoptera	<i>Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae</i>
	Diptera	<i>Dixidae; Simuliidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; Muscidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae</i>
	Hemiptera	<i>Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae</i>
	Odonata	<i>Calopterygidae; Coenagrionidae</i>
	Ephemeroptera	<i>Caenidae</i>
	Hidracarina	<i>Hidracarina</i>
3	Coleoptera	<i>Hydrophilidae</i>
	Diptera	<i>Psychodidae</i>
	Mollusca	<i>Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae; Bythinellidae; Sphaeridae</i>
	Annelida	<i>Hirudinea; Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae</i>
	Crustacea	<i>Asellidae</i>
2	Diptera	<i>Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae</i>
1	Diptera	<i>Syrphidae</i>
	Annelida	<i>Oligochatea</i>

Fuente: Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (Arias Sánchez, Dobles Mora, & Ávila Aguero, 2007).

- **Cálculo del índice:** para obtener el valor del índice se procede a realizar una sumatoria de los valores de las familias de macro-invertebrados bentónicos encontradas.

2.5.5 Interpretación del BMWP-CR

Para la interpretación del valor del índice se compara el valor obtenido con los rangos establecidos en la siguiente tabla, y de esta forma se obtiene cual es la calidad del agua de acuerdo al IBMW-CR.

Cuadro 5: Clasificación de la calidad del agua de acuerdo al BMWP-CR.

RANGO	CALIDAD	DESCRIPCIÓN	COLOR
>120	Muy buena	Aguas de calidad excelente.	Azul
101 a 120	Buena	Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible.	Celeste
61 a 100	Dudosa	Aguas de calidad regular, eutrófica, contaminación moderada.	Verde
36 a 60	Regular	Aguas de calidad mala, contaminadas.	Amarillo
16 a 35	Crítica	Aguas de calidad mala, muy contaminadas.	Naranja
< 15	Muy crítica	Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas.	Rojo

Fuente: Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (Arias Sánchez, Dobles Mora, & Ávila Aguero, 2007).

2.6 Conceptos de la norma COGUANOR NTG 29001

2.6.1 Campo de aplicación

Esta norma se aplica a toda agua para consumo humano, preparación de alimentos y uso doméstico. Proveniente de fuentes como: pozos, nacimientos, ríos, entre otras y que puede estar ubicada en una red de distribución, en reservorios o depósitos.

Se excluyen el agua purificada envasada y el agua carbonatada, las cuales son cubiertas por normas específicas.

2.6.2 Agua apta para consumo humano

Es aquella que por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor.

2.6.3 Características microbiológicas del agua

Son aquellas que se originan por presencia de microorganismos que determinan su calidad.

2.6.4 Límites de las características microbiológicas

A continuación se presenta una tabla en donde se especifica el límite máximo permisible de microorganismos en muestras de agua para consumo humano.

Cuadro 6: Valores guía para verificación de la calidad microbiológica del agua.

MICROORGANISMOS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Agua para consumo directo Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100 ml de agua
Agua tratada que entra al sistema de distribución Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100 ml de agua
Agua tratada en el sistema de distribución Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100 ml de agua

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001, Agua para consumo humano (agua potable), especificaciones, página 10 (COGUANOR, 2013).

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Definición del método de investigación utilizado

3.1.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación que se realizó es cuantitativo. En este enfoque, el investigador recolecta datos sobre el fenómeno bajo estudio para probar las hipótesis planteadas, a través de la medición numérica y el análisis estadístico de las variables (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006).

3.1.2 Método de la investigación

El método que se utilizó en el presente trabajo, es el método de investigación no experimental. Este método se utiliza cuando no hacemos variar intencionalmente las condiciones del fenómeno bajo estudio. Se basa fundamentalmente en la observación de dicho fenómeno tal y como se encuentra en su contexto natural, para después analizarlo (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006).

3.2 Contexto espacial y temporal de la investigación

3.2.1 Contexto espacial

La investigación se llevó a cabo en los tres ríos principales que atraviesan el municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché. Estos ríos son: Chilil, Cucul y Santa Rosa. El río Santa Rosa es absorbido por el río Cucul, a la altura del caserío Sinchaj. Finalmente, el río Cucul es absorbido por el río Chilil a la altura de la aldea Muluvá, continuando su curso rumbo al municipio de San Andrés Sajcabajá (ver mapa No.1).

3.2.2 Contexto temporal

La investigación que se llevó a cabo de acuerdo al contexto temporal, fue una investigación sincrónica, ya que se evaluó la calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa que atraviesan el municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché para un momento específico; dicha investigación tuvo una duración de seis meses, iniciando las actividades en el mes de agosto del año 2016 y finalizando en el mes de enero del año 2017.

3.3 Hipótesis nula y alternativa

3.3.1 Hipótesis nula

H₀: La calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché, de acuerdo a las características fisicoquímicas y biológicas que presenta no es adecuada para el consumo humano, ni para el empleo en actividades agrícolas.

3.3.2 Hipótesis alternativa

Ha: La calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché, de acuerdo a las características fisicoquímicas y biológicas que presenta es adecuada para el consumo humano y empleo en actividades agrícolas.

3.4 Variables de investigación

3.4.1 Clasificación en independientes y dependientes

Cuadro 7: Clasificación de las variables de investigación.

Independientes		Dependientes	
1	Temperatura	1	Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISQA).
2	Oxígeno disuelto		
3	Conductividad eléctrica		
4	Demanda química de oxígeno		
5	Sólidos suspendidos totales		
6	Familias de macroinvertebrados bentónicos	2	Índice Biológico Monitoring Working Party modificado para Costa Rica (BMWP-CR).
7	Coliformes totales		

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Definición conceptual, operativa e instrumental

Cuadro 8: Definición conceptual, operativa e instrumental de las variables independientes.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operativa	Definición Instrumental
Temperatura	Es una magnitud física, que indica la intensidad de calor o frío del agua.	El dato fue tomado en grados centígrados.	Los datos de T°, OD y Ce; se determinaron in situ, haciendo uso de un equipo multiparámetros, conectando a este la sonda que correspondía para cada uno de los parámetros.
Oxígeno Disuelto	Es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua.	El dato fue tomado en mg/l.	
Conductividad Eléctrica	Es la cantidad de iones en solución dentro del agua, y que son capaces de conducir energía.	El dato fue tomado en $\mu\text{S}/\text{cm}$.	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 9: Continuación del Cuadro 8.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operativa	Definición Instrumental
Demanda Química de Oxígeno	Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica que se encuentra en el agua por medios químicos.	El dato fue tomado en mg/l.	Los datos de DQO, SST y coliformes totales se determinaron en laboratorio, para ello se recolectaron muestras de agua en
Sólidos Suspendidos Totales	Es la cantidad de material (sólidos) que es retenido después de realizar la filtración de un volumen de agua.	El dato fue tomado en mg/l.	frascos plásticos herméticos esterilizados de 100 ml, las cuales fueron trasladadas en cadena de frío al laboratorio
Coliformes Totales	Son microorganismos que encuentran en el intestino de los seres humanos y animales, son eliminados a través de la materia fecal; por lo que son utilizados como indicadores de contaminación bacteriana.	El dato fue tomado en Unidades Formadoras de Colonias/100 ml.	de gestión ambiental de la División de Ciencia y Tecnología del Centro Universitario de Occidente.
Familias de Macroinvertebrados Bentónicos	Son macroorganismos invertebrados que se encuentran en los sedimentos de los cuerpos de agua y que son utilizados como bioindicadores de la calidad del agua.	El dato que se utilizó fue el nivel taxonómico de la familia a la que pertenecen los macroorganismos que fueron recolectados.	Haciendo uso de una red D se recolectaron las muestras de macroorganismos, las cuales fueron almacenadas en frascos plásticos herméticos con alcohol al 70% para su posterior clasificación. La clasificación se realizó auxiliándose de guías y claves taxonómicas.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 10: Definición conceptual, operativa e instrumental de las variables dependientes.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operativa	Definición Instrumental
Índice Simplificado de la Calidad del Agua	Es un índice fisicoquímico que reúne en una ecuación matemática cinco parámetros fisicoquímicos (T°, OD, Ce, DQO y SST) para determinar la calidad del agua.	El dato fue adimensional y su interpretación se realizó auxiliándose de una tabla de categorías de calidad del agua para el ISQA.	El valor de los índices se determinó a través de una ecuación matemática, auxiliándose del programa Microsoft Office Excel.
Índice Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica	Es un índice biótico que reúne en una ecuación matemática los valores de tolerancia a la contaminación que son asignados a las familias de macroinvertebrados bentónicos para determinar el grado de contaminación del agua.	El dato fue adimensional y su interpretación se realizó auxiliándose de una tabla de categorías del grado de contaminación del agua para el BMWP-CR.	

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Objeto de estudio

Los objetos de estudio de la presente investigación, fueron los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa que atraviesan el municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché. En estos ríos se determinó la calidad del agua de acuerdo a las características fisicoquímicas y biológicas que los mismos presentan, para lo cual se realizó un monitoreo ambiental estratificado, el cual consistió en establecer estaciones de monitoreo en diferentes puntos de sus recorridos.

3.6 Fuentes de información

3.6.1 Primarias

La información primaria fue obtenida a través de consultas realizadas a personas calificadas, e incluyó a los grupos siguientes:

- Pobladores del municipio de San Bartolomé Jocotenango: se realizaron consultas a actores claves del municipio para identificar focos de contaminación, vías de accesos y aspectos relacionados al recurso hídrico que contribuyeron a establecer la ubicación de las estaciones de monitoreo y a la elaboración de la propuesta de gestión para los tres ríos estudiados.

- Profesionales de las ciencias ambientales: se realizaron consultas sobre cómo llevar a cabo los monitoreos.
- Profesionales en investigación cuantitativa: se realizaron consultas para el desarrollo del proceso del análisis estadístico de las variables de la investigación

3.6.2 Secundarias

Las fuentes de información secundaria que se consultaron fueron las siguientes:

- Diagnóstico ambiental del municipio de San Bartolomé Jocotenango.
- Libros sobre investigación cuantitativa.
- Trabajos de investigación relacionados a la determinación de la calidad del agua.
- Protocolos para el monitoreo ambiental en cuerpos de agua.
- Guías y claves taxonómicas para la clasificación de la clase Insecta.
- Técnicas de análisis de datos cuantitativos.

También se consultaron los siguientes videos técnicos:

- Protocolos para el monitoreo ambiental en cuerpos de agua.
- Técnicas de recolección de macroinvertebrados bentónicos.

3.7 Técnicas y equipos que se utilizaron en la recopilación de datos

Los datos que sirvieron para determinar la calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa que atraviesan el municipio de San Bartolomé Jocotenango, fueron recopilados mediante tres monitoreos ambientales que se realizaron en cada una de las estaciones de monitoreo que se establecieron en diferentes puntos de los recorridos de los ríos mencionados anteriormente.

La técnica que se utilizó para la recopilación de los datos de campo, fueron formatos de registros para parámetros fisicoquímicos (ver anexo No.2), formatos para parámetros bióticos (ver anexo No.3) y formatos para parámetros bacteriológicos (ver anexo No.4). Para los datos de laboratorio, se utilizaron hojas electrónicas para parámetros fisicoquímicos, bióticos y bacteriológicos en el programa Microsoft Office Excel.

Para la recopilación de datos de campo se utilizó el siguiente equipo:

- Para los parámetros fisicoquímicos de temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, se utilizó un equipo multiparámetros y sus respectivas sondas.
- Para los parámetros fisicoquímicos de demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales, se recolectó en cada una de las estaciones de monitoreo una muestra de 100 ml de agua en frascos plásticos herméticos esterilizados, los cuales se trasladaron en cadena de frío al laboratorio de gestión ambiental de la División de Ciencia y Tecnología del Centro Universitario de Occidente, en donde se determinaron sus valores.

- Para el parámetro bacteriológico (coliformes totales) se recolectó en cada una de las estaciones de monitoreo una muestra de 100 ml de agua en frascos plásticos herméticos esterilizados, los cuales se trasladaron en cadena de frío al laboratorio de gestión ambiental de la División de Ciencia y Tecnología del Centro Universitario de Occidente, en donde se determinaron sus valores.
- Para el parámetro biótico (macroinvertebrados bentónicos), se utilizó una red D para la recolección de los macroorganismos, los cuales fueron almacenados en frascos con alcohol etílico al 70% para su posterior identificación. La clasificación de los macroinvertebrados bentónicos a nivel taxonómico de familia se realizó a través de la observación de las partes de estos organismos (ver anexo No.5) a través del siguiente procedimiento:
 - ✓ Se extrajo un organismo del frasco de almacenamiento y se colocó sobre una superficie blanca (esto para poder observar mejor las partes del organismo).
 - ✓ Utilizando la clave taxonómica para identificar los principales ordenes de la clase Insecta del Dr. German H. Cheli, se compararon las características descritas en la clave taxonómica con las características observadas en el organismo y se determinó a que orden pertenecía.
 - ✓ Una vez que se tenía clasificado el organismo a nivel taxonómico de orden, se procedió a clasificarlo a nivel taxonómico de familia, para ello se utilizó la guía ilustrada de El Salvador para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden al que pertenecía el organismo que se estaba clasificando. Para clasificar el organismo se compararon las características siguiendo la secuencia de la clave dicotómica que aparece en la guía y con ello se logró identificar la familia a la que pertenecía el organismo.

3.8 Validez de los datos de la investigación

Los datos fisicoquímicos (T°, OD y Ce) se determinaron utilizando el equipo multiparámetros, al momento que la persona encargada del laboratorio de gestión ambiental de la División de Ciencia y Tecnología del Centro Universitario de Occidente hizo entrega del equipo, se le solicitó que verificara que el equipo estuviera calibrado y se revisó que las sondas se encontraran en perfecto estado (con la finalidad de que no se tuvieran fallas al momento de tomar los datos en campo). Al momento de la toma de datos se recolectó una muestra de agua en un frasco plástico esterilizado de 100 ml y se procedió a introducir inmediatamente la sonda correspondiente, esperando hasta que el equipo se estabilizara y se procedió a anotar el dato para el parámetro evaluado.

Los datos fisicoquímicos (DQO y SST) se determinaron en el laboratorio de gestión ambiental de la División de Ciencia y Tecnología del Centro Universitario de Occidente, las muestras de agua fueron recolectadas en frascos plásticos herméticos esterilizados y transportadas en cadena de frío para evitar la contaminación de las muestras y que altere el valor de los datos que fueron determinados en el laboratorio.

Los datos bacteriológicos (coliformes totales) se determinaron en el laboratorio de gestión ambiental de la División de Ciencia y Tecnología del Centro Universitario de Occidente, las muestras de agua fueron recolectadas en frascos plásticos herméticos esterilizados y transportadas en cadena de frío para evitar la contaminación y que esto altere el valor de los datos; para el dato biótico (familias de macroinvertebrados bentónicos), los macroorganismos se recolectaron utilizando una red manual tipo D, la cual estaba hecha de cedazo de 1 mm poro, la cual aseguró la captura de macroinvertebrados bentónicos, ya que estos tienen un tamaño superior a los 2 mm.

3.9 Pasos del trabajo de campo

- **Reconocimiento del contexto espacial:** se realizó un recorrido a lo largo de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa, al interior del municipio, con la finalidad de conocer el contexto espacial en el que se desarrolló la investigación. Este reconocimiento se realizó en compañía del coordinador de la Unidad de Gestión Ambiental Municipal (UGAM) de San Bartolomé Jocotenango.
- **Identificación de puntos de contaminación:** durante el reconocimiento del contexto espacial se georeferenciaron los puntos en donde se identificaron basureros clandestinos de desechos sólidos, desfuegos de aguas residuales y zonas de pastoreo que se encuentran a en las riberas de los ríos; esto se realizó con un GPS y después se elaboró un mapa con los puntos tomados (ver mapa No.12).
- **Elección de estaciones de monitoreo:** se eligieron los puntos claves que sirvieron como estaciones de monitoreo; los criterio que se tomaron en cuenta para la elección de las estaciones de monitoreo fueron: la división territorial del municipio, la accesibilidad y la presencia de condiciones antrópicas que puedan estar modificando la calidad del agua de un estación a otra.
- **Georeferenciación de las estaciones de monitoreo:** una vez que se eligieron los puntos claves que sirvieron como estaciones de monitoreo, se procedió a ir a campo y auxiliándose de un GPS se georeferenciaron y posteriormente se elaboró un mapa de las estaciones de monitoreo (ver mapa No.2) el cual se utilizó en cada uno de los monitoreos a lo largo de la investigación.
- **Determinación del momento en que se realizaron los monitoreos:** se realizaron tres monitoreos durante tres semanas consecutivas, durante la época lluviosa; en las fechas del 26/09/2016 al 10/10/2016.

- **Monitoreos:** estos consistieron en la recopilación de parámetros fisicoquímicos y biológicos en cada una de las estaciones de monitoreo, con los pasos que se describen a continuación:
 - ✓ **Parámetros fisicoquímicos en campo:** con el equipo multiparámetros, las sondas, una piseta con agua destilada, papel mayordomo y el formato de registro para parámetros fisicoquímicos se determinaron los datos *in situ*. Posteriormente se realizó la toma de datos de T°, OD y Ce en una muestra de 100 ml de agua en un frasco plástico esterilizado, se introdujo la sonda en la muestra de agua, se esperó a que el equipo se estabilizara y luego se hizo la lectura y se anotó el valor que nos indicó el mismo.
 - ✓ **Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en laboratorio:** previo a la recolección de las muestras se identificaron los recipientes, se procedió a purgar el recipiente con agua del río y recolectó una muestra de 100 ml de agua por cada estación de monitoreo; la cual fue depositada en una hielera para que posteriormente fuera trasladada en cadena de frío, al laboratorio de gestión ambiental para la determinación de la DQO y los SST. En el segundo monitoreo se recolectó una muestra de agua adicional por cada estación de monitoreo. Esta muestra fue recolectada y trasladada siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente y sirvió para la determinación de coliformes totales. Por cada una de estas muestras se llenó formato de registros para parámetros bacteriológicos.
 - ✓ **Parámetro biótico (macroinvertebrados bentónicos):** se procedió a preparar la red D, un recipiente plástico, una pinza, el formato de registro para parámetros bióticos y los recipientes plásticos herméticos en que fueron almacenados los organismos (identificación y agregación de alcohol al 70%). Posteriormente se realizó el siguiente procedimiento: se muestrearon dos microhábitats (rocas y sedimentos) durante quince minutos cada uno; para el caso de las rocas, estas se observaron y se recolectaron los organismos que se encontraban en ellas; para el caso de los sedimentos se colocó la red D al ras de los sedimentos y de cara contra la corriente. Se removieron los sedimentos a modo que se mezclaran con el agua y los organismos quedaran atrapados en la red. Para concluir, se vació la red sobre un recipiente plástico y auxiliándose de una pinza se procedió a tomar y colocar los organismos recolectados en los recipientes correspondientes. Finalmente, se limpió la red y el recipiente plástico con agua. Las familias identificadas, se anotaron en la hoja de registros para parámetros bióticos.

3.10 Técnicas de análisis de los datos

Para el análisis de los datos se utilizaron diferentes técnicas de análisis estadístico descriptivo, las cuales se describen a continuación:

- **Transformación de parámetros:** teniendo los datos de campo de los parámetros fisicoquímicos (T°, OD, Ce, DQO y SST), se procedió a tabularlos en una hoja electrónica del programa Microsoft Office Excel para poder efectuar la transformación de cada una de las variables independientes en los valores que se necesitaron para la

utilización de la ecuación matemática para el cálculo del ISQA. Para ello se siguió el procedimiento que se describe en el Inciso 2.4.2 “Método para la determinación del ISQA” de este documento. Mientras que para los parámetros bióticos (familias de macroinvertebrados bentónicos) se procedió a la asignación del valor de tolerancia a la contaminación para cada una de las familias identificadas. Esto se realizó de acuerdo a al cuadro 3 “Valoración de familias de macroinvertebrados bentónicos según el BMWP-CR” y cuadro 4 “Continuación del cuadro 2”, los cuales se encuentran en las páginas 16 y 17 de este documento.

- **Ecuaciones matemáticas:** con los valores obtenidos de la transformación de parámetros, se procedió a utilizar ecuaciones matemáticas: para los parámetros fisicoquímicos se utilizó la ecuación que aparece en el inciso 2.4.2 “Método para la determinación del ISQA”, mientras que para los parámetros bióticos, se realizó una sumatoria de los valores. Con la operación de las ecuaciones se obtuvo el valor del ISQA y el BMWP-CR. Este procedimiento se realizó para cada una de las estaciones de monitoreo y para cada monitoreo que se realizó.

Teniendo el valor de cada uno de los índices (ISQA e BMWP-CR) por cada una de las estaciones de monitoreo y por cada monitoreo que se realizó, se procedió a realizar por separado el promedio de cada uno de los índices; esto se realizó por cada una de las estaciones de monitoreo, obteniendo el promedio general de cada una de las estaciones de monitoreo.

- **Comparaciones:** los valores promedio que se obtuvieron de cada uno de los índices, se compararon de la siguiente manera: el valor obtenido del ISQA se comparó con el cuadro 2 “Clasificación de la calidad del agua según el ISQA”, el cual se encuentra en la página 15 de este documento. El valor obtenido del BMWP-CR se comparó con el cuadro 5 “Clasificación de la calidad del agua según el BMW-CR”, el cual se encuentra en la página 18 de este documento. Esta comparación nos indicó cual es la calidad del agua para cada una de las estaciones de monitoreo.
- **Interpretación del análisis bacteriológico:** para el caso del parámetro bacteriológico, este se interpretó comparando el resultado obtenido con los límites máximos permisibles establecidos en las normas COGUANOR para determinar el uso que los pobladores pueden hacer del agua de los tres ríos que se evaluaron.
- **Elaboración de mapas:** teniendo la georeferenciación de las estaciones de monitoreo y de los puntos de contaminación, así como los resultados de los parámetros fisicoquímicos y biológicos que se evaluaron, se procedió a elaborar una serie de mapas con la calidad del agua, usos del agua y actividades antrópicas del entorno, utilizando el programa ArcGIS.

- **Interpretación de los mapas:** se realizó una comparación de los mapas, para lo cual se analizó y relacionó las actividades antrópicas en torno a las estaciones de monitoreo, para determinar la influencia que estas tienen sobre la calidad del agua que estas presentan, y finalmente se elaboró la propuesta de gestión de los ríos evaluados.

CAPITULO IV: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

4.1 Estaciones de monitoreo

En base a lo observado durante el reconocimiento del contexto espacial, la identificación de focos de contaminación y siguiendo los criterios para la elección de las estaciones de monitoreo, se definieron nueve ubicaciones.

Cuadro 11: Estaciones de monitoreo.

No.	Nombre	Código	Coordenadas UTM	
1	Parte alta río Chilil	ParCh	0700948	1683033
2	Parte media río Chilil	PmrCh	0705196	1681789
3	Parte baja río Chilil	PbrCh	0715025	1683600
4	Parte alta río Cucul	ParC	0646976	1647411
5	Parte media río Cucul	PmrC	0703562	1678643
6	Parte alta río Santa Rosa	ParSR	0710164	1676101
7	Unión ríos Santa Rosa-Cucul	UrSA-C	0708753	1679577
8	Unión ríos Cucul-Chilil	UrC-Ch	0709253	1682160
9	Después del desfogue río Chilil	DdrCh	0707232	1681018

Fuente: Elaboración propia.

Las estaciones de monitoreo fueron establecidas dentro de los límites territoriales del municipio, definiéndose que se establecerían estaciones de monitoreo en la parte alta, media y baja del tramo de los ríos, después de las uniones de los ríos y después del desfogue de aguas residuales del área urbana, esto debido a que es el foco de contaminación que vierte sus desechos líquidos directamente sobre las aguas del río Chilil; además, peso a que existen otros focos de contaminación como basureros, desfogues de aguas residuales y zonas de pastoreo, estas no se encuentran a orillas de los ríos bajo estudio, sino próximos a riachuelos que alimentan a estos, sobre todo en época de invierno.

4.2 Índice Simplificado de la Calidad de Agua

4.2.1 Transformación de parámetros

- a) **Temperatura:** Los valores de temperatura, tomados en grados centígrados, fueron transformados al valor adimensional E. Debido a que todos los valores encontrados son mayores a 20 grados centígrados se utilizó la siguiente ecuación:

$$E = 1 - (T - 20) * 0.0125$$

Cuadro 12: Datos de temperatura.

Código de la Estación de Monitoreo	Temperatura					
	Primer Monitoreo		Segundo Monitoreo		Tercer Monitoreo	
	°C	E	°C	E	°C	E
ParCh	26.55	0.92	26.45	0.92	23.55	0.96
PmrCh	27.80	0.90	29.45	0.88	25.30	0.93
PbrCh	24.50	0.94	23.65	0.95	24.55	0.94
ParC	20.65	0.99	21.60	0.98	20.35	1.00
PmrC	24.80	0.94	24.60	0.94	23.65	0.95
ParSR	26.40	0.92	24.90	0.94	21.85	0.98
UrSA-C	25.75	0.93	25.60	0.93	24.60	0.94
UrC-Ch	24.60	0.94	23.75	0.95	22.45	0.97
DdrCh	26.65	0.92	28.65	0.89	24.65	0.94

Fuente: Elaboración propia.

- b) **Demanda Química de Oxígeno:** Los valores de demanda química de oxígeno tomados en mg/l fueron transformados al valor adimensional A. Debido a que todos los valores encontrados son mayores a 60 mg/l se utilizó la siguiente ecuación: $A = 0$

Cuadro 13: Datos de demanda química de oxígeno.

Código de la Estación de Monitoreo	Demanda Química de Oxígeno					
	Primer Monitoreo		Segundo Monitoreo		Tercer Monitoreo	
	mg/l	A	mg/l	A	mg/l	A
ParCh	180	0	110	0	180	0
PmrCh	130	0	160	0	200	0
PbrCh	170	0	120	0	150	0
ParC	120	0	160	0	140	0
PmrC	130	0	180	0	210	0
ParSR	110	0	110	0	140	0
UrSA-C	150	0	130	0	140	0
UrC-Ch	180	0	150	0	190	0
DdrCh	180	0	210	0	250	0

Fuente: Elaboración propia.

- c) **Sólidos Suspendidos Totales:** Los valores de sólidos suspendidos totales tomados en mg/l fueron transformados al valor adimensional B. Para los valores encontrados que son mayores a 100 mg/l y menores o iguales a 250 mg/l se utilizó la siguiente ecuación: $B = 17 - (0.07 * SST)$; y para los valores encontrados que son mayores a 250 mg/l se utilizó la siguiente ecuación: $B = 0$

Cuadro 14: Datos de sólidos suspendidos totales.

Código de la Estación de Monitoreo	Sólidos Suspendidos Totales					
	Primer Monitoreo		Segundo Monitoreo		Tercer Monitoreo	
	mg/l	B	mg/l	B	mg/l	B
ParCh	150.00	6.50	171.80	4.97	198.80	3.08
PmrCh	134.10	7.61	166.80	5.32	185.30	4.03
PbrCh	134.80	7.56	160.40	5.77	197.30	3.19
ParC	158.70	5.89	141.40	7.10	160.90	5.74
PmrC	131.30	7.81	180.80	4.34	171.60	4.99
ParSR	137.10	7.40	141.90	7.07	160.90	5.74
UrSA-C	134.60	7.58	155.60	6.11	184.00	4.12
UrC-Ch	136.00	7.48	160.40	5.77	182.20	4.25
DdrCh	234.00	0.62	319.10	0.00	480.20	0.00

Fuente: Elaboración propia.

- d) **Oxígeno Disuelto:** Los valores de oxígeno disuelto tomados en mg/l fueron transformados al valor adimensional C. Debido a que todos los valores encontrados son menores a 10 mg/l se utilizó la siguiente ecuación: $C = 2.5 * OD$

Cuadro 15: Datos de oxígeno disuelto.

Código de la Estación de Monitoreo	Oxígeno Disuelto					
	Primer Monitoreo		Segundo Monitoreo		Tercer Monitoreo	
	mg/l	C	mg/l	C	mg/l	C
ParCh	6.28	15.70	6.29	15.72	7.01	17.52
PmrCh	6.45	16.12	6.54	16.35	7.16	17.90
PbrCh	7.12	17.80	8.11	20.27	7.11	17.77
ParC	6.80	17.00	6.67	16.67	7.07	17.67
PmrC	6.56	16.40	6.57	16.42	6.83	17.07
ParSR	6.71	16.77	7.00	17.50	7.59	18.97
UrSA-C	6.84	17.10	6.85	17.12	7.07	17.67
UrC-Ch	6.93	17.32	7.18	17.95	7.17	17.92
DdrCh	5.65	14.12	4.52	11.30	4.20	10.50

Fuente: Elaboración propia.

- e) **Conductividad Eléctrica:** Los valores de conductividad eléctrica tomados en $\mu\text{S}/\text{cm}$ fueron transformados al valor adimensional D. Debido a que todos los valores encontrados son menores a $4000 \mu\text{S}/\text{cm}$ se utilizó la siguiente ecuación:
 $D = (3.6 - \log CE) * 15.4$

Cuadro 16: Datos de conductividad eléctrica.

Código de la Estación de Monitoreo	Conductividad Eléctrica					
	Primer Monitoreo		Segundo Monitoreo		Tercer Monitoreo	
	$\mu\text{S}/\text{cm}$	D	$\mu\text{S}/\text{cm}$	D	$\mu\text{S}/\text{cm}$	D
ParCh	91.60	25.23	104.60	24.34	120.90	23.37
PmrCh	81.30	26.02	99.60	24.67	112.50	23.85
PbrCh	79.50	26.17	94.80	25.00	116.60	23.61
ParC	93.10	25.12	108.10	24.12	115.80	23.66
PmrC	80.00	26.13	85.50	25.69	102.90	24.45
ParSR	80.40	26.10	85.40	25.70	94.40	25.03
UrSA-C	80.20	26.12	92.40	25.17	109.40	24.04
UrC-Ch	79.80	26.15	95.30	24.96	108.30	24.11
DdrCh	119.80	23.43	190.90	20.32	285.00	17.64

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Cálculo del índice

- a) **Índice por monitoreo:** Los valores transformados de cada uno de los parámetros se utilizaron en la siguiente ecuación: $ISQA = E * (A + B + C + D)$

Cuadro 17: Valor del ISQA por monitoreo.

Código de la Estación de Monitoreo	Índice Simplificado de la Calidad del Agua		
	Primer Monitoreo	Segundo Monitoreo	Tercer Monitoreo
	Valor del ISQA		
ParCh	44	41	42
PmrCh	45	41	43
PbrCh	49	49	42
ParC	48	47	47
PmrC	47	44	44
ParSR	46	47	49
UrSA-C	47	45	43
UrC-Ch	48	46	45
DdrCh	35	28	27

Fuente: Elaboración propia.

- b) **Índice promedio:** Los valores del ISQA obtenidos en cada estación de monitoreo se promediaron para obtener el valor final del ISQA para cada una de ellas.

Cuadro 18: Valor promedio del ISQA.

Código de la Estación de Monitoreo	Valor Promedio del ISQA
ParCh	42
PmrCh	43
PbrCh	46
ParC	47
PmrC	45
ParSR	47
UrSA-C	45
UrC-Ch	46
DdrCh	30

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Interpretación del ISQA

Cuadro 19: Clasificación de la calidad del agua de acuerdo al valor del ISQA obtenido.

Código de la Estación de Monitoreo	Valor Promedio del ISQA	Interpretación del ISQA	
		Categoría	Color
ParCh	42	Mala	Amarillo
PmrCh	43	Mala	Amarillo
PbrCh	46	Mala	Amarillo
ParC	47	Mala	Amarillo
PmrC	45	Mala	Amarillo
ParSR	47	Mala	Amarillo
UrSA-C	45	Mala	Amarillo
UrC-Ch	46	Mala	Amarillo
DdrCh	30	Mala	Amarillo

Fuente: Elaboración propia.

Los valores del ISQA que se obtuvieron en cada una de las estaciones de monitoreo, se encuentran en un rango comprendido de 26 a 50, lo cual hace que la calidad de las aguas de los ríos estudiados queden dentro de la misma categoría, para este caso la categoría agrupa aguas de apariencia contaminada y de fuerte olor.

4.3 Índice Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica

4.3.1 Identificación y valoración de macroinvertebrados bentónicos

Con la ayuda de claves y guías taxonómicas para la clase Insecta, se clasificaron los macroinvertebrados bentónicos recolectados en cada uno de los monitoreos y, posteriormente, se le asignó el valor de tolerancia a la contaminación a cada una de las familias identificadas.

Cuadro 20: Clasificación y valoración de macroinvertebrados bentónicos.

Código de la Estación de Monitoreo	Orden	Familia	Primer Monitoreo	Segundo Monitoreo	Tercer Monitoreo
			Valor	Valor	Valor
ParCh	Coleoptera	Dytiscidae	4	4	0
		Elmidae	5	5	5
		Noteridae	4	4	4
	Diptera	Dixidae	0	0	4
		Ceratopogonidae	0	4	0
	Ephemeroptera	Baetidae	5	5	5
		Leptohiphidae	0	0	5
	Hemiptera	Naucoridae	4	4	4
	Megaloptera	Corydalidae	6	6	6
	Odonata	Calopterygidae	4	0	4
		Coenagrionidae	4	4	4
		Corduliidae	8	0	0
		Libellulidae	6	6	6
	PmrCh	Coleoptera	Dytiscidae	0	0
Elmidae			5	0	5
Diptera		Chironomidae	0	2	0
		Tipulidae	4	4	0
Ephemeroptera		Baetidae	5	0	0
		Caenidae	4	4	4
		Leptohiphidae	0	0	5
Hemiptera		Naucoridae	0	4	0
		Veliidae	3	0	3
Megaloptera		Corydalidae	6	6	6
Odonata		Calopterygidae	4	0	0
		Coenagrionidae	4	4	4
	Libellulidae	0	6	0	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 21: Continuación del Cuadro 20.

Código de la Estación de Monitoreo	Orden	Familia	Primer Monitoreo	Segundo Monitoreo	Tercer Monitoreo
			Valor	Valor	Valor
PbrCh	Coleoptera	Dytiscidae	4	4	4
		Elmidae	5	5	5
		Hydrophilidae	0	3	0
		Noteridae	4	0	0
	Diptera	Ceratopogonidae	0	4	0
		Dixidae	0	4	4
	Ephemeroptera	Baetidae	5	5	5
		Leptohyphidae	5	0	5
	Hemiptera	Naucoridae	4	0	4
	Megaloptera	Corydalidae	0	6	6
	Odonata	Coenagrionidae	0	4	4
		Gomphidae	7	0	0
		Libellulidae	6	6	0
ParC	Coleoptera	Dytiscidae	0	4	4
		Elmidae	5	5	5
	Diptera	Ceratopogonidae	4	0	0
	Ephemeroptera	Baetidae	5	0	5
		Leptohyphidae	5	5	0
	Hemiptera	Corixidae	4	0	0
		Naucoridae	4	4	0
	Megaloptera	Corydalidae	6	6	6
	Odonata	Calopterygidae	0	4	4
		Coenagrionidae	4	0	4
		Gomphidae	7	0	0
		Libellulidae	0	6	0
		Perilestidae	0	8	8
Trichoptera	Hydroptilidae	0	0	6	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 22: Continuación del Cuadro 21.

Código de la Estación de Monitoreo	Orden	Familia	Primer Monitoreo	Segundo Monitoreo	Tercer Monitoreo
			Valor	Valor	Valor
PmrC	Coleoptera	Dytiscidae	4	0	4
		Elmidae	5	5	5
		Staphylinidae	0	4	0
	Diptera	Dixidae	0	0	4
		Tipulidae	4	0	0
	Ephemeroptera	Baetidae	5	5	0
		Caenidae	0	0	4
		Leptohiphidae	5	5	5
	Hemiptera	Corixidae	4	0	4
		Naucoridae	0	0	4
	Megaloptera	Corydalidae	6	6	0
	Odonata	Calopterygidae	0	4	0
		Coenagrionidae	4	4	4
		Gomphidae	0	7	0
		Libellulidae	6	0	6
	ParSR	Coleoptera	Dytiscidae	4	0
Elmidae			5	5	5
Diptera		Ceratopogonidae	4	0	0
		Dixidae	0	4	4
		Tipulidae	0	4	0
Ephemeroptera		Baetidae	0	5	5
		Caenidae	0	4	0
		Leptohiphidae	5	0	5
Hemiptera		Naucoridae	4	4	4
Megaloptera		Corydalidae	6	0	6
Odonata		Coenagrionidae	4	4	4
		Libellulidae	6	6	0
		Perilestidae	8	0	8
Trichoptera		Hydroptilidae	0	6	0

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 23: Continuación del Cuadro 22.

Código de la Estación de Monitoreo	Orden	Familia	Primer Monitoreo	Segundo Monitoreo	Tercer Monitoreo
			Valor	Valor	Valor
UrSA-C	Coleoptera	Dytiscidae	4	4	0
		Elmidae	5	5	5
		Noteridae	0	4	0
		Staphylinidae	4	0	0
	Diptera	Ceratopogonidae	0	4	4
		Tipulidae	4	0	0
	Ephemeroptera	Baetidae	5	0	5
		Caenidae	0	4	4
		Leptohiphidae	5	5	0
	Hemiptera	Naucoridae	4	4	4
	Megaloptera	Corydalidae	6	6	6
	Odonata	Coenagrionidae	4	4	0
		Corduliidae	0	0	8
		Libellulidae	6	6	6
		Perilestidae	0	8	0
	UrC-Ch	Coleoptera	Dytiscidae	0	4
Elmidae			5	5	5
Noteridae			4	4	0
Diptera		Dixidae	4	0	0
Ephemeroptera		Baetidae	5	0	5
		Leptohiphidae	0	5	5
Hemiptera		Naucoridae	4	4	0
Megaloptera		Corydalidae	6	6	6
Odonata		Coenagrionidae	4	4	4
		Corduliidae	8	0	0
		Libellulidae	0	6	0
		Perilestidae	0	0	8

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 24: Continuación del Cuadro 23.

Código de la Estación de Monitoreo	Orden	Familia	Primer Monitoreo	Segundo Monitoreo	Tercer Monitoreo
			Valor	Valor	Valor
DdrCh	Annelida	Erpobdellidae	3	3	3
		Oligochaeta	0	1	1
	Coleoptera	Dytiscidae	4	4	0
		Elmidae	5	0	5
		Noteridae	4	0	0
	Diptera	Ceratopogonidae	0	4	0
		Chironomidae	2	2	0
		Dixidae	0	0	4
		Tipulidae	4	0	0
	Ephemeroptera	Leptohyphidae	0	5	0
	Hemiptera	Naucoridae	0	0	4
	Megaloptera	Corydalidae	0	6	6
	Odonata	Coenagrionidae	4	4	0
Libellulidae		6	0	6	

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Cálculo del índice

- a) *Índice por monitoreo*: Se realizó la sumatoria de los valores de las familias de macroinvertebrados bentónicos identificados.

Cuadro 25: Valor del índice BMWP-CR por monitoreo.

Código de la Estación de Monitoreo	Primer Monitoreo	Segundo Monitoreo	Tercer Monitoreo
	Valor del BMWP-CR		
ParCh	50	42	47
PmrCh	35	30	31
PbrCh	40	41	37
ParC	44	42	42
PmrC	43	40	40
ParSR	46	42	45
UrSA-C	47	54	42
UrC-Ch	40	38	37
DdrCh	32	29	29

Fuente: Elaboración propia.

- b) **Índice promedio:** Los valores del índice BMWP-CR obtenidos en cada estación de monitoreo, se promediaron para obtener el valor final del índice BMWP-CR para cada una de ellas.

Cuadro 26: Valor promedio del índice BMWP-CR.

Código de la Estación de Monitoreo	Valor Promedio del BMWP-CR
ParCh	46
PmrCh	32
PbrCh	39
ParC	43
PmrC	41
ParSR	44
UrSA-C	48
UrC-Ch	38
DdrCh	30

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Interpretación del índice BMWP-CR

Cuadro 27: Clasificación de la calidad del agua de acuerdo al valor del índice BMWP-CR obtenido.

Código de la Estación de Monitoreo	Valor Promedio del BMWP-CR	Interpretación del BMWP-CR	
		Calidad	Color
ParCh	46	Regular	Amarillo
PmrCh	32	Crítica	Naranja
PbrCh	39	Regular	Amarillo
ParC	43	Regular	Amarillo
PmrC	41	Regular	Amarillo
ParSR	44	Regular	Amarillo
UrSA-C	48	Regular	Amarillo
UrC-Ch	38	Regular	Amarillo
DdrCh	30	Crítica	Naranja

Fuente: Elaboración propia.

Los valores del BMWP-CR que se obtuvieron en las estaciones de monitoreo se encuentran en dos rangos que son: entre 36 a 60 (que significa que las aguas de los ríos corresponden a una categoría regular, la cual agrupa aguas de calidad mala, contaminadas) y entre 16 a 35 (que indica que las aguas de los ríos corresponden a una categoría crítica, la cual agrupa aguas de calidad mala, muy contaminadas).

4.4 Análisis bacteriológico

4.4.1 Coliformes totales

Cuadro 28: Resultados del análisis bacteriológico.

Código de la Estación de Monitoreo	UFC
ParCh	4.53 x 10 ³
PmrCh	5.04 x 10 ³
PbrCh	1.23 x 10 ³
ParC	4.06 x 10 ³
PmrC	5.17 x 10 ³
ParSR	1.11 x 10 ³
UrSA-C	2.58 x 10 ³
UrC-Ch	3.81 x 10 ³
DdrCh	4.67 x 10 ³

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Interpretación del análisis bacteriológico

Partiendo de los resultados obtenidos del análisis bacteriológico de las muestras tomadas de las aguas de los ríos estudiados, puede afirmarse que, de acuerdo a la norma COGUANOR la presencia de Unidades Formadoras de Colonia no satisfacen la norma de calidad, ya que la norma establece que en una muestra de 100 ml de agua no deben ser detectables las Unidades Formadoras de Colonias.

4.5 Análisis de los datos

En la presente investigación se planteó una hipótesis nula (H_0 : La calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché de acuerdo a las características fisicoquímicas y biológicas que presenta no es adecuada para el consumo humano, ni para el empleo en actividades agrícolas.) y una hipótesis alternativa (H_a : La calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché de acuerdo a las características fisicoquímicas y biológicas que presenta es adecuada para el consumo humano y empleo en actividades agrícolas.). Con las técnicas de análisis de datos que se emplearon, fue posible obtener un diagnóstico sobre la calidad de las aguas de los ríos bajo estudio, de acuerdo a las características fisicoquímicas y biológicas que presentan y que fueron evaluadas a través de la presente investigación; dicho diagnóstico evidencio que, en cada una de las estaciones de monitoreo que se establecieron y para las tres formas de análisis de datos que se emplearon, los resultados obtenidos reflejan que las aguas de los ríos bajo estudio son aguas contaminadas; por lo tanto, se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula, ya que de acuerdo a las características fisicoquímicas y bacteriológicas que fueron evaluadas, las aguas de dichos ríos no son aptas para el consumo

humano ni para el empleo en actividades agrícolas, debido a que están son aguas contaminadas, respaldado dicha hipótesis con los datos estadísticos que se obtuvieron con la ejecución de la presente investigación; así mismo la contaminación de los ríos estudiados deja de ser un supuesto y pasa a ser una problemática real que necesita ser atendida.

4.6 Discusión de los resultados

Los resultados que se obtuvieron con la ejecución de la presente investigación reflejan que las aguas de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango se encuentran contaminadas, lo cual es respaldado por los datos estadísticos que se recopilaron sobre las características fisicoquímicas y biológicas (de tipo biótico) que se analizaron e interpretaron a través del ISQA y el BMWP-CR; y al complementar la investigación con un análisis biológico (de tipo bacteriológico) el cual también da como resultado que la aguas están contaminadas, la investigación permite establecer que las aguas de los ríos bajo estudio no son aptas para el consumo humano, ni para el empleo en actividades agrícolas; a su vez la realización de tres monitoreos logra establecer una base confiable sobre los resultados obtenidos, ya que en cada uno de los monitoreos realizados los datos que se obtuvieron son similares e interpretados en las mismas categorías de contaminación; y al establecer estaciones de monitoreo en diferentes puntos del recorrido de los ríos bajo estudio se refleja que la contaminación de las aguas se mantienen en el recorrido de los ríos, ya que en cada una de las estaciones de monitoreo los datos que se obtuvieron son similares e interpretados en las mismas categorías de contaminación.

Para el caso del ISQA los valores que se obtuvieron en las nueve estaciones de monitoreo se encuentran dentro de un rango comprendido entre 26 a 50, lo cual hace que los valores queden dentro de la misma categoría de calidad del agua. Sin embargo, aunque los valores se ubican dentro de la misma categoría, existen diferencias numéricas entre cada una de ellos, teniendo el valor más bajo ISQA=30 (el cual se obtuvo en la estación de monitoreo que se estableció en el río Chilil después del desfogue de aguas residuales y basureros del área urbana); en base a ello puede afirmarse que las características fisicoquímicas que presentan las aguas del río Chilil en dicha sección se han visto alteradas por las actividades antrópicas que se desarrollan en torno a ellas y que han generado un foco de contaminación que está alterando la calidad del agua de dicho río.

Para el caso del BMWP-CR los valores que se obtuvieron se encuentran agrupados en dos rangos; siete estaciones de monitoreo se encuentran dentro de un rango comprendido entre 36 a 60 y las dos restantes en un rango comprendido entre 16 a 35, estando los valores de estas dos próximos a ser parte del rango superior. Para este índice el valor más bajo (BMWP-CR=30) se obtuvo en la estación de monitoreo que se estableció en el río Chilil después del desfogue de aguas residuales y basureros del área urbana; lo cual refleja que tanto las características fisicoquímicas y biológicas del agua han sido alteradas por las actividades antrópicas mencionadas anteriormente, y a la vez reflejan que existe una relación de causa y efecto; lo cual quiere decir que las actividades antrópicas influyen directamente sobre la calidad del agua de los ríos.

Para el caso del análisis bacteriológico, los valores que se obtuvieron en las nueve estaciones de monitoreo superan el límite máximo permisible de colonias de coliformes totales que establece la norma COGUANOR, teniendo el valor más alto ($UFC=5.17 \times 10^3$) en la estación de monitoreo que se estableció en la parte media del río Cucul, por lo que se puede decir que en esta sección del río Cucul existe una contaminación bacteriológica causada por el desfogue de aguas residuales y pastoreo.

Finalmente podemos decir que, para el caso de los índices de calidad de agua (ISQA y BMWP-CR), mientras el valor es más bajo, existe una mayor contaminación de las aguas; mientras que para el caso de análisis bacteriológico (coliformes totales), mientras el valor sea más alto existe una mayor contaminación de las aguas; lo cual se refleja en la presente investigación en donde los datos estadísticos dan como resultados valores bajos para los índices y valores altos para el parámetro de coliformes totales.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- En base al Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISQA) con el cual se determinó la calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, los valores que se obtuvieron en las diferentes estaciones de monitoreo que se establecieron, demuestran que, de acuerdo a las características fisicoquímicas que este toma en cuenta (temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno), las aguas de los ríos estudiados son de mala calidad.
- En base al índice Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica (BMWP-CR) con el cual se determinó la calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, los valores que se obtuvieron en las diferentes estaciones de monitoreo que se establecieron, demuestran que, de acuerdo a las características biológicas (familias de macroinvertebrados bentónicos), las aguas de ríos estudiados se mantienen en una categoría de contaminación regular, variando en dos estaciones de monitoreo (después del desfogue río Chilil y Parte media río Chilil) en donde la categoría de contaminación pasa a ser crítica.
- De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis bacteriológico realizado para las muestras de agua tomadas en las diferentes estaciones de monitoreo que se establecieron en los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, estos reflejan que las aguas de los ríos estudiados no cumplen con el límite máximo permisible de coliformes totales que se establece en las normas COGUANOR, y por lo tanto las aguas presentan contaminación de tipo bacteriológico.
- En base a las características fisicoquímicas y biológicas del agua que se evaluaron para los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, se determinó que éstas no son aptas para el consumo humano, ni para el empleo en actividades agrícolas debido a que los resultados obtenidos a partir de los tres estudios realizados (ISQA, BMWP-CR y coliformes totales) revelan que las aguas de los ríos estudiados se encuentran contaminadas.
- Se determinó que las causas de contaminación son el manejo inadecuado que se le da a los desechos sólidos y líquidos que generan los pobladores del municipio de San Bartolomé Jocotenango, y las prácticas agropecuarias que se desarrollan en las riberas de los ríos; siendo la causa principal el manejo inadecuado de los desechos líquidos.

5.2 Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos de la realización de la presente investigación, se realizan las siguientes recomendaciones dirigidas a los diferentes actores involucrados:

5.2.1 Mancomunidad de Municipios del Corredor Seco del Departamento de El Quiché (MANCOSEQ)

- Buscar alianzas con los municipios de Sacapulas, San Pedro Jocopilas y Santa Cruz del Quiché, del departamento de El Quiché, ya que los ríos que fueron estudiados nacen en dichos municipios y dado que los resultados que se obtuvieron en las estaciones de monitoreo que fueron establecidas en las partes altas, reflejan un alto grado de contaminación, es pertinente evaluar la calidad de las aguas de los ríos, desde su nacimiento para conocer el estado de estas desde su origen y proponer acciones enfocadas en la conservación, recuperación y conservación de los nacimientos de los ríos.
- Coordinar con la sede del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social del departamento de El Quiché para que deleguen técnicos que puedan instruir a los pobladores del municipio de San Bartolomé Jocotenango en temas de saneamiento básico.
- Coordinar con la sede del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales del departamento de El Quiché para que monitoreen que los desechos sólidos y líquidos que se generan en los municipios de Sacapulas, San Bartolomé Jocotenango, San Pedro Jocopilas y Santa Cruz del Quiché, sean manejados adecuadamente.

5.2.2 Municipalidad de San Bartolomé Jocotenango

- Realizar estudios técnicos sobre los desechos líquidos y sólidos que se generan en el municipio de San Bartolomé Jocotenango para conocer el tipo de desechos, las características, los volúmenes y el tratamiento que debe dárseles para reducir el impacto negativo que estos causan sobre el medio ambiente.
- Implementar plantas de tratamiento para los desechos líquidos y sólidos que se generan en el municipio de San Bartolomé Jocotenango.
- Realizar acciones que permitan reducir el impacto negativo que causan las actividades antrópicas sobre el río Chilil y el río Cucul, principalmente aquellas que se encuentran cercanas a las estaciones de monitoreo establecidas en la parte alta y media del río Chilil, después del desfogue en el río Chilil y en la parte media del río Cucul; debido a que en dichas estaciones se encontraron los valores más altos de contaminación.

- Evaluar en época seca la calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa por medio del estudio de sus características fisicoquímicas y bacteriológicas.
- Implementar un sistema anual de monitoreo para la evaluación de la calidad de las aguas de los ríos del municipio de San Bartolomé Jocotenango.
- Dar a conocer a los pobladores del municipio de San Bartolomé Jocotenango los resultados que se obtuvieron con la realización de la presente investigación.

5.2.3 Pobladores del municipio de San Bartolomé Jocotenango

- Organizar comités locales de medio ambiente y recursos naturales con la finalidad que puedan gestionar ante la municipalidad la coordinación con otras entidades para que los capaciten y asesoren en temas ambientales y el cuidado de los recursos naturales.
- Evitar pastorear animales en las riberas de los ríos, ya que tal actividad es considerada como un foco de contaminación.
- Depositar los desechos sólidos en lugares autorizados por la municipalidad de San Bartolomé Jocotenango.
- Implementar letrinas aboneras y estructuras de tratamiento de aguas grises a nivel domiciliar, para reducir las descargas de desechos líquidos sin tratamiento.

CAPITULO VI: PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DE LOS RÍOS CHILIL, CUCUL Y SANTA ROSA DEL MUNICIPIO DE SAN BARTOLOMÉ JOCOTENANGO, DEPARTAMENTO DE EL QUICHÉ

5.1 Introducción

Los resultados obtenidos a partir de la ejecución de la investigación titulada “*Evaluación de la calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché y propuesta para su gestión*” reflejan que, de acuerdo a los parámetros fisicoquímicos y biológicos evaluados, las aguas de los ríos estudiados son aguas de mala calidad, es decir, aguas que están contaminadas y que, por lo tanto, demandan que las autoridades municipales coordinen con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el Instituto Nacional de Bosques (INAB) y el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) el desarrollo de acciones que contribuyan a la recuperación y protección de los recursos hídricos, a través del involucramiento de la población en la formulación y ejecución de planes orientados a la reducción de focos de contaminación y a la reducción de los impactos negativos que las actividades antrópicas tienen sobre los recursos hídricos.

Se plantea un conjunto de actividades para que las autoridades municipales, junto a delegados del MARN, INAB y MSPAS, contribuyan a la reducción de impactos negativos que las actividades antrópicas tienen sobre los recursos hídricos, formando en los pobladores del municipio de San Bartolomé Jocotenango, una cultura y conducta ambiental orientada en procesos de recuperación y protección de los recursos hídricos, buscando la recuperación de la calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa.

5.2 Metas

- Contribuir a que la municipalidad de San Bartolomé Jocotenango coordine con el 80% de la población, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, el Instituto Nacional de Bosques y el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social procesos de gestión ambiental local relacionados al tema de recursos hídricos.
- Involucrar al 80% de la población del municipio de San Bartolomé Jocotenango en la recuperación y protección de los recursos hídricos.
- Reducir en un 80% el desfogue sin tratamiento de aguas residuales que generan los pobladores del municipio de San Bartolomé Jocotenango, con la finalidad de reducir los impactos negativos que esta actividad causa sobre los recursos hídricos.
- Reforestar el 100% de las riberas de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango.

5.3 Objetivos

5.3.1 General

- Contribuir a la recuperación de la calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché.

5.3.2 Específicos

- Fortalecer la Unidad de Gestión Ambiental Municipal de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché.
- Realizar una propuesta de acciones para la reducción de actividades antrópicas que alteran la calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché.
- Establecer un sistema de monitoreo para realizar una evaluación periódica de la calidad del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché.

5.4 Justificación

Debido a que los resultados que se obtuvieron de la evaluación de las características fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango, departamento de El Quiché, los cuales demuestran que estos se encuentran contaminados y por ser una problemática que afecta al ser humano y a los seres que se desarrollan en las aguas, es urgente y necesario que la municipalidad como órgano rector a nivel municipal planifique y ejecute propuestas que estén orientadas a reducir la contaminación de las fuentes de agua que se encuentran en su territorio, a través de procesos que incluyan a la población para que realmente tengan éxito. En base a la problemática identificada que necesita ser atendida se plantea la presente propuesta para que le sirva a la municipalidad de base para iniciar con procesos de gestión ambiental local con un enfoque en la recuperación y protección de los recursos hídricos, y para este caso en específico, por tratarse de que las aguas de los ríos se encuentran contaminadas, se plantea una propuesta para la reducción de los impactos negativos que las acciones antrópicas como el pastoreo, la disposición de desechos sólidos y líquidos están causando sobre las fuentes de agua al ser focos de contaminación que alteran la calidad de las aguas de los ríos que se encuentran en el entorno en donde se desarrollan dichas actividades; y es urgente que se realice porque es de suma importancia que se cuiden las fuentes de agua, puesto que cada vez más se dispone de menos fuentes de agua, ya que en su mayoría estas están contaminadas, por lo que es necesario iniciar a desarrollar acciones que en el corto plazo contribuyan a la reducción de focos de contaminación de fuentes de agua y en el largo plazo puedan contribuir a recuperar la calidad del agua de los ríos, para que en el futuro, bajo un tratamiento adecuado, puedan utilizarse como fuentes alternas para el consumo humano y para el empleo en actividades agrícolas.

5.5 Marco legal que respalda la presente propuesta

5.5.1 Constitución Política de la República de Guatemala

- **Artículo 94.- Obligación del Estado, sobre salud y asistencia social.** El Estado velará por la salud y la asistencia social de todos los habitantes. Desarrollará, a través de sus instituciones, acciones de prevención, promoción, recuperación, rehabilitación, coordinación y las complementarias pertinentes a fin de procurarles el más completo bienestar físico, mental y social.
- **Artículo 95.- La salud, bien público.** La salud de los habitantes de la Nación es un bien público. Todas las personas e instituciones están obligadas a velar por su conservación y restablecimiento.
- **Artículo 96.- Control de calidad de productos.** El Estado controlará la calidad de los productos alimenticios, farmacéuticos, químicos y de todos aquéllos que puedan afectar la salud y bienestar de los habitantes. Velará por el establecimiento y programación de la atención primaria de la salud, y por el mejoramiento de las condiciones de saneamiento ambiental básico de las comunidades menos protegidas.
- **Artículo 97.- Medio ambiente y equilibrio ecológico.** El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.
- **Artículo 119.- Obligaciones del Estado.** Son obligaciones fundamentales del Estado:
c) Adoptar las medidas que sean necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales en forma eficiente.
- **Artículo 126.- Reforestación.** Se declara de urgencia nacional y de interés social, la reforestación del país y la conservación de los bosques. La ley determinará la forma y requisitos para la explotación racional de los recursos forestales y su renovación, incluyendo las resinas, gomas, productos vegetales silvestres no cultivados y demás productos similares, y fomentará su industrialización. La explotación de todos estos recursos, corresponderá exclusivamente a personas guatemaltecos, individuales o jurídicas.

Los bosques y la vegetación en las riberas de los ríos y lagos, y en las cercanías de las fuentes de aguas, gozarán de especial protección.

5.5.2 Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto No. 68-86

- **Artículo 4.-** El Estado velará porque la planificación del desarrollo nacional sea compatible con la necesidad de proteger, conservar y mejorar el medio ambiente.

- **Artículo 5.-** La descarga y emisión de contaminantes que afecten a los sistemas y elementos indicados en el artículo 10 de esta ley, debe sujetarse a las normas ajustables a la misma y sus reglamentos.

- **Artículo 11.-** La presente ley tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país.

- **Artículo 12.-** Son objetivos específicos de la ley los siguientes:
 - a)* La protección, conservación y mejoramiento de los recursos naturales del país, así como la prevención del deterioro y mal uso o destrucción de los mismos, y la restauración del medio ambiente en general.
 - b)* La prevención, regulación y control de cualesquiera de las causas o actividades que origine deterioro del medio ambiente y contaminación de los sistemas ecológicos, y excepcionalmente, la prohibición en casos que afecten la calidad de vida y el bien común, calificados así, previo dictámenes científicos y técnicos emitidos por organismos competentes.
 - c)* Orientar los sistemas educativos, ambientales y culturales, hacia la formación de recursos humanos calificados en ciencias ambientales y la educación a todos los niveles para formar una conciencia ecológica en toda la población.
 - e)* La creación de toda clase de incentivos y estímulos para fomentar programas e iniciativas que se encaminen a la protección, mejoramiento y restauración del medio ambiente.
 - f)* El uso integral y manejo racional de las cuencas y sistemas hídricos.
 - h)* Salvar y restaurar aquellos cuerpos, de agua, que estén amenazados o en grave peligro de extinción.

- **Artículo 13.-** Para los efectos de la presente ley el medio ambiente comprende: los sistemas atmosféricos (aire); hídrico (agua); lítico (roca y minerales); edáfico (suelos); biótico (animales y plantas); elementos audiovisuales y recursos naturales y culturales.

- **Artículo 15.-** El Gobierno velará por el mantenimiento de la cantidad del agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes para:
 - a)* Evaluar la calidad de las aguas y sus posibilidades de aprovechamiento, mediante análisis periódicos sobre sus características físicas, químicas y biológicas.

- c)* Revisar permanentemente los sistemas de disposiciones de agua servidas o contaminadas para que cumplan con las normas de higiene y saneamiento ambiental y fijar los requisitos.
- d)* Determinar técnicamente los casos en que debe producirse o permitirse el vertimiento de residuos, basuras, desechos o desperdicios en una fuente receptora, de acuerdo a las normas de calidad del agua.
- f)* Promover el uso integral y el manejo racional de cuencas hídricas, manantiales y fuentes de abastecimiento de aguas.
- g)* Investigar y controlar cualquier causa o fuente de contaminación hídrica para asegurar la conservación de los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies.
- h)* Propiciar en el ámbito nacional e internacional las acciones necesarias para mantener la capacidad reguladora del clima en función de cantidad y calidad del agua.
- i)* Velar por la conservación de la flora, principalmente los bosques, para el mantenimiento y el equilibrio del sistema hídrico, promoviendo la inmediata reforestación de las cuencas lacustres, de ríos y manantiales.
- j)* Prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares de Guatemala.
- k)* Investigar, prevenir y controlar cualesquiera otras causas o fuentes de contaminación hídrica.

5.5.3 Código Municipal, Decreto No. 22-2010

- **Artículo 17.- Derechos y obligaciones de los vecinos.** Son derechos y obligaciones de los vecinos:
 - f)* Participar activa y voluntariamente en la formulación, planificación, ejecución y evaluación de las políticas públicas municipales y comunitarias.
 - g)* Ser informado regularmente por el gobierno municipal de los resultados de las políticas y planes municipales y de la rendición de cuentas, en la forma prevista por la ley.
 - i)* Utilizar de acuerdo con su naturaleza los servicios públicos municipales y acceder a los aprovechamientos comunales conforme a las normas aplicables.
 - l)* Solicitar la prestación, y en su caso, el establecimiento del correspondiente servicio público municipal.

- **Artículo 34.-Reglamento interno.** El Concejo Municipal emitirá su propio reglamento interno de organización y funcionamiento, los reglamentos y ordenanzas para la organización y funcionamiento de sus oficinas, así como el reglamento de personal y demás disposiciones que garanticen la buena marcha de la administración municipal.

- **Artículo 35.-Competencias generales del Concejo Municipal.** Le compete al Concejo Municipal:
 - b)* El ordenamiento territorial y control urbanístico de la circunscripción municipal.
 - c)* La convocatoria a los distintos sectores de la sociedad del municipio para la formulación e institucionalización de las políticas públicas municipales y de los planes

de desarrollo urbano y rural del municipio, identificando y priorizando las necesidades comunitarias y propuestas de solución a los problemas locales.

e) El establecimiento, planificación, reglamentación, programación, control y evaluación de los servicios públicos municipales, así como las decisiones sobre las modalidades institucionales para su prestación, teniendo siempre en cuenta la preeminencia de los intereses públicos.

i) La emisión y aprobación de acuerdos, reglamentos y ordenanzas municipales.

y) La promoción y protección de los recursos renovables y no renovables del municipio.

- **Artículo 36.-Organización de comisiones.** En su primera sesión ordinaria anual, el Concejo Municipal organizará las comisiones que considere necesarias para el estudio y dictamen de los asuntos que conocerá durante todo el año, teniendo carácter obligatorio las siguientes comisiones:
 1. Educación, educación bilingüe intercultural, cultura y deportes.
 2. Salud y asistencia social.
 3. Servicios, infraestructura, ordenamiento territorial, urbanismo y vivienda.
 4. Fomento económico, turismo, ambiente y recursos naturales.
 5. Descentralización, fortalecimiento municipal y participación ciudadana.

El Concejo Municipal podrá organizar otras comisiones además de las ya establecidas.

- **Artículo 58.- Atribuciones del alcalde comunitario o alcalde auxiliar.** Son atribuciones del alcalde comunitario o alcalde auxiliar, en su respectiva circunscripción, las siguientes:
 - a)* Promover la organización y la participación sistemática y efectiva de la comunidad en la identificación y solución de los problemas locales.
 - h)* Ser vínculo de comunicación entre las autoridades del municipio y los habitantes.
 - k)* Velar por el cumplimiento de las ordenanzas, reglamentos y disposiciones de carácter general, emitidos por el Concejo Municipal o el alcalde, a quien dará cuenta de las infracciones y faltas que se cometan.
 - l)* Velar por la conservación, protección y desarrollo de los recursos naturales de su circunscripción territorial.
- **Artículo 67.- Gestión de intereses del municipio.** El municipio, para la gestión de sus intereses y en el ámbito de sus competencias puede promover toda clase de actividades económicas, sociales, culturales, ambientales, y prestar cuantos servicios contribuyan a mejorar la calidad de vida, a satisfacer las necesidades y aspiraciones de la población del municipio.

- **Artículo 68.- Competencias propias del municipio.** Las competencias propias deberán cumplirse por el municipio, por dos o más municipios bajo convenio, o por mancomunidad de municipios, y son las siguientes:
 - a)* Abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada; alcantarillado; alumbrado público; mercados; rastros; administración de cementerios y la autorización y control de los cementerios privados; recolección, tratamiento y disposición de desechos sólidos; limpieza y ornato; formular y coordinar políticas, planes y programas relativos a la recolección, tratamiento y disposición final de desechos y residuos sólidos hasta su disposición final.
 - l)* Promoción y gestión ambiental de los recursos naturales del municipio.
 - m)* Desarrollo de viveros forestales municipales permanentes, con el objeto de reforestar las cuencas de los ríos, lagos, reservas ecológicas y demás áreas de su circunscripción territorial para proteger la vida, salud, biodiversidad, recursos naturales, fuentes de agua y luchar contra el calentamiento global.

- **Artículo 72.- Servicios públicos municipales.** El municipio debe regular y prestar los servicios públicos municipales de su circunscripción territorial y, por lo tanto, tiene competencia para establecerlos, mantenerlos, ampliarlos y mejorarlos, en los términos indicados en los artículos anteriores, garantizando un funcionamiento eficaz, seguro y continuo y, en su caso, la determinación y cobro de tasas y contribuciones equitativas y justas. Las tasas y contribuciones deberán ser fijadas atendiendo los costos de operación, mantenimiento y mejoramiento de calidad y cobertura de servicios.

5.5.4 Código de Salud, Decreto No. 90-97

- **Artículo 3.- Responsabilidad de los ciudadanos.** Todos los habitantes de la República están obligados a velar, mejorar y conservar su salud personal, familiar y comunitaria, así como las condiciones de salubridad del medio en que viven y desarrollan sus actividades.

- **Artículo 38.- Acciones.** Las acciones de promoción y prevención, estarán dirigidas a interrumpir la cadena epidemiológica de las enfermedades tanto a nivel del ambiente como de la protección, diagnóstico y tratamientos precoces de la población susceptible:
 - a)* Las acciones de promoción, de la salud estarán dirigidas a mantener y mejorar el nivel de la salud, mediante la adopción de estilos de vida sanos con énfasis en el cuidado personal, ejercicio físico, alimentación y nutrición adecuadas, la preservación de ambiente saludables y evitar el uso de sustancias nocivas para la salud. El Ministerio de Salud en coordinación con las instituciones del sector, deberá establecer los mecanismos necesarios para que la sociedad en su conjunto, los individuos, las familias y las comunidades participen activamente.
 - c)* En relación con el ambiente, las acciones de promoción y prevención buscarán el acceso de la población con énfasis en la de mayor postergación, a servicios de agua potable, adecuada eliminación y disposición de excretas, adecuada disposición de desechos sólidos, higiene de alimentos, disminución de la contaminación ambiental.

- **Artículo 39.- Programas de educación.** Los programas de educación e información para la promoción de la salud, deberán ser diseñados para su fácil y adecuada comprensión; en el caso de los grupos étnicos deberán ser realizados en su propio idioma, valorando, respetando y considerando sus creencias, costumbres y prácticas.
- **Artículo 68.- Ambientes saludables.** El Ministerio de Salud, en colaboración con la Comisión Nacional del Medio Ambiente, las Municipalidades y la comunidad organizada, promoverán un ambiente saludable que favorezca el desarrollo pleno de los individuos, familias y comunidades.
- **Artículo 70.- Vigilancia de la calidad ambiental.** El Ministerio de Salud, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, las Municipalidades y la comunidad organizada, establecerán un sistema de vigilancia de la calidad ambiental sustentado en los límites permisibles de exposición.
- **Artículo 71.- Derecho a la información.** El Ministerio de Salud, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y las Municipalidades, deberán recolectar y divulgar información pertinente a la población, sobre los riesgos a la salud asociados con la exposición directa o indirecta de los agentes contaminantes, que excedan los límites de exposición y de calidad ambiental establecidos.
- **Artículo 84.- Tala de árboles.** Se prohíbe terminantemente la tala de árboles, en las riberas de ríos, riachuelos, lagos, lagunas y fuentes de agua, hasta 25 metros de sus riberas. La transgresión a dicha disposición será sancionada de acuerdo a lo que establezca el presente Código.
- **Artículo 90.- Agua contaminada.** Queda prohibido utilizar agua contaminada, para el cultivo de vegetales alimentarios para el consumo humano. En el reglamento respectivo, quedarán establecidos los mecanismos de control.
- **Artículo 92.- Dotación de servicios.** Las municipalidades, industrias, comercios, entidades agropecuarias, turísticas y otro tipo de establecimientos públicos y privados, deberán dotar o promover la instalación de sistemas adecuados para la eliminación sanitaria de excretas, el tratamiento de aguas residuales y aguas servidas, así como del mantenimiento de dichos sistemas conforme a la presente ley y los reglamentos respectivos.

- **Artículo 93.- Acceso y cobertura.** El Ministerio de Salud de manera conjunta con las instituciones del Sector, las Municipalidades y la comunidad organizada, promoverá la cobertura universal de la población a servicios para la disposición final de excretas, la conducción y tratamientos de aguas residuales y fomentará acciones de educación sanitaria para el correcto uso de las mismas.
- **Artículo 95.- Disposición de excretas.** Queda prohibida la disposición insanitaria de excretas en lugares públicos, terrenos comunales y baldíos. La contravención a esta disposición será sancionada por la autoridad municipal respectiva, de conformidad con el Código Municipal, los reglamentos municipales y el presente Código.
- **Artículo 96.- Construcción de obras de tratamiento.** Es responsabilidad de las Municipalidades o de los usuarios de las cuencas o subcuencas afectadas, la construcción de obras para el tratamiento de las aguas negras y servidas, para evitar la contaminación de otras fuentes de agua: ríos, lagos, nacimientos de agua. El Ministerio de Salud deberá brindar asistencia técnica en aspectos vinculados a la construcción, funcionamiento y mantenimiento de las mismas.
- **Artículo 102.- Responsabilidad de las municipalidades.** Corresponde a las municipalidades la prestación de los servicios de limpieza o recolección, tratamiento y disposición de los desechos sólidos de acuerdo con las leyes específicas y en cumplimiento de las normas sanitarias aplicables. Las municipalidades podrán utilizar lugares para la disposición de desechos sólidos o construcción de los respectivos rellenos sanitarios, previo dictamen del Ministerio de Salud y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el que deberá ser elaborado dentro del plazo improrrogable de dos meses de solicitado. De no producirse el mismo será considerado emitido favorablemente, sin perjuicio de la responsabilidad posterior que se produjera, la que recaerá en el funcionario o empleado que no emitió el dictamen en el plazo estipulado.
- **Artículo 103.- Disposición de los desechos sólidos.** Se prohíbe arrojar o acumular desechos sólidos de cualquier tipo en lugares no autorizados, alrededor de zonas habitadas y en lugares que puedan producir daños a la salud a la población, al ornato o al paisaje, utilizar medios inadecuados para su transporte y almacenamiento o proceder a su utilización, tratamiento y disposición final, sin la autorización municipal correspondiente, la que deberá tener en cuenta el cumplimiento de las medidas sanitarias establecidas para evitar la contaminación del ambiente, específicamente de los derivados de la contaminación de los afluentes provenientes de los botaderos de basura legales o clandestinos.

- **Artículo104.- Lugares inadecuados.** Si el Ministerio de Salud comprobara que existen lugares en donde se estén depositando desechos sólidos sin llenar los requisitos de la presente ley, deberán ser trasladados a otros lugares que cumplan con los requisitos sanitarios, con base a un programa que de común acuerdo establezcan las municipalidades respectivas y el Ministerio de Salud.
- **Artículo105.- Sitios y espacios abiertos.** Los propietarios o poseedores de predios, sitios o espacios abiertos en sectores urbanos y rurales, deberán cercarlos y mantenerlos libres de desechos sólidos, malezas y aguas estancadas. Las autoridades municipales, en coordinación con las sanitarias, son responsables de hacer cumplir esta disposición.

5.6 Actividades a desarrollar

Cuadro 29: Actividades a desarrollar para la propuesta de la gestión de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango.

ACTIVIDAD	OBJETIVO DE LA ACTIVIDAD	DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD
Fortalecimiento de la Unidad de Gestión Ambiental Municipal	Promover el funcionamiento adecuado de los departamentos que conforman la UGAM y crear departamentos que respondan a las necesidades ambientales a nivel municipal.	<p>Identificar los aspectos ambientales que son atendidos por los departamentos de la UGAM.</p> <p>Evaluar el funcionamiento de los departamentos que conforman la UGAM a través de matrices de análisis que permitan identificar y valorizar sus características.</p> <p>Analizar los aspectos ambientales que no son atendidos por los departamentos de la UGAM.</p> <p>Evaluar de los aspectos ambientales que no son atendidos por los departamentos de la UGAM cuales pueden incluirse en los departamentos existentes y para cuales es necesaria la creación de otros departamentos.</p> <p>Formular un manual de funcionamiento de los departamentos que conforman la UGAM.</p> <p>Establecer los perfiles profesionales con que debe contar el personal de los departamentos que conforman la UGAM.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 30: Continuación del Cuadro 29.

ACTIVIDAD	OBJETIVO DE LA ACTIVIDAD	DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD
Organización de comités locales de medio ambiente y recursos naturales	Fomentar la creación de comités locales que velen por la conservación, protección y recuperación de los recursos naturales.	<p>Formular un reglamento municipal que promueva la creación y funcionamiento de comités locales de medio ambiente y recursos naturales.</p> <p>Divulgar con los pobladores el reglamento municipal de comités locales de medio ambiente y recursos naturales.</p> <p>Organizar a los pobladores en comités locales de medio ambiente y recursos naturales.</p> <p>Capacitar a los comités locales de medio ambiente y recursos naturales sobre las funciones que deben realizar, así como temas relacionados al estado de los recursos naturales, la importancia y que medidas pueden tomarse para la conservación, protección y recuperación de los mismos.</p>
Coordinación institucional	Coordinar con instituciones relacionadas al medio ambiente (gubernamentales y no gubernamentales) el apoyo en la realización de actividades que tengan como fin la conservación, protección y recuperación de los recursos naturales.	<p>Identificar instituciones gubernamentales que deban tener cobertura en el municipio y que las actividades que estas desarrollan estén relacionadas al medio ambiente.</p> <p>Identificar instituciones no gubernamentales que puedan tener cobertura en el municipio y que las actividades que estas desarrollan estén relacionadas al medio ambiente.</p> <p>Solicitar a las instituciones gubernamentales y no gubernamentales el apoyo en el desarrollo de los procesos de gestión ambiental que se desarrollen en el municipio.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 31: Continuación del Cuadro 30.

ACTIVIDAD	OBJETIVO DE LA ACTIVIDAD	DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD
Estudio técnico sobre desechos sólidos	Realizar un estudio que le permita a la municipalidad conocer las características y volúmenes de los desechos sólidos que se generan en el municipio.	<p>Dar financiamiento a la UGAM para que realice el estudio técnico sobre los desechos sólidos que se generan en el área urbana.</p> <p>Establecer un plazo de entrega del estudio técnico sobre desechos sólidos.</p> <p>Analizar los resultados que se obtengan del estudio técnico sobre desechos sólidos.</p>
Construcción de planta de tratamiento de desechos sólidos	Darle un tratamiento adecuado a los desechos sólidos que se generan en el municipio.	<p>Dar financiamiento a la UGAM para que en base a los resultados obtenidos del estudio técnico sobre desechos sólidos realice el diseño y la construcción de una planta de tratamiento de desechos sólidos.</p> <p>Establecer un plazo de entrega de la planta de tratamiento de desechos sólidos.</p>
Establecimiento de un sistema de recolección de desechos sólidos	Implementar un sistema de recolección de desechos sólidos en el área urbana del municipio.	<p>Definir las rutas de recolección de desechos sólidos.</p> <p>Definir los días de recolección de desechos sólidos.</p> <p>Definir una tarifa por recolección de desechos sólidos.</p> <p>Evaluar quien prestara el servicio de recolección de desechos sólidos.</p>
Capacitación sobre manejo de desechos sólidos	Capacitar a los pobladores sobre la forma adecuada en que deben tratar los desechos sólidos.	<p>Diseñar una metodología que permita capacitar a los pobladores del área urbana sobre la forma en que deben clasificar los desechos sólidos para que sean recolectados.</p> <p>Diseñar una metodología que permita capacitar a los pobladores del área rural sobre la forma en que deben tratar y darle disposición final a los desechos sólidos.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 32: Continuación del Cuadro 31.

ACTIVIDAD	OBJETIVO DE LA ACTIVIDAD	DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD
Autorización de áreas a utilizar como basureros	Establecer áreas en donde los pobladores puedan depositar los desechos sólidos.	<p>Evaluar las posibles áreas que puedan ser utilizadas para la disposición de desechos sólidos y que sean de fácil acceso para los pobladores.</p> <p>Establecer y autorizar las áreas que serán utilizadas para la disposición de desechos sólidos.</p>
Jornadas de limpieza	Recolectar desechos sólidos que están depositados en zonas no autorizadas.	<p>Planificar anualmente jornadas de limpieza para la recolección de desechos sólidos que se encuentren en puntos no autorizados.</p> <p>Dar a conocer a la población el plan anual de jornadas de limpieza.</p> <p>Ejecutar el plan anual de jornadas de limpieza.</p>
Reglamento municipal sobre desechos sólidos	Establecer las formas en que los pobladores deberán de tratar y disponer finalmente los desechos sólidos.	<p>Formular un reglamento municipal de desechos sólidos.</p> <p>Divulgar con los pobladores el reglamento municipal de desechos sólidos.</p>
Plan de monitoreo de desechos sólidos	Evaluar anualmente la funcionalidad de las acciones que se han tomado para mejorar el manejo de desechos sólidos.	<p>Establecer un mecanismo anual de monitoreo el cual permita verificar el impacto que están teniendo las acciones que se están llevando a cabo para mejorar el manejo de desechos sólidos en el municipio.</p> <p>Analizar los resultados que se obtengan a partir del monitoreo sobre el manejo de desechos sólidos.</p>
Estudio técnico sobre desechos líquidos	Realizar un estudio que le permita a la municipalidad conocer las características y volúmenes de los desechos líquidos que se generan en el municipio.	<p>Dar financiamiento a la UGAM para que realice el estudio técnico sobre los desechos líquidos que se generan en el área urbana.</p> <p>Establecer un plazo de entrega del estudio técnico sobre desechos líquidos.</p> <p>Analizar los resultados que se obtengan del estudio técnico sobre desechos líquidos.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 33: Continuación del Cuadro 32.

ACTIVIDAD	OBJETIVO DE LA ACTIVIDAD	DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD
Construcción de planta de tratamiento de desechos líquidos	Darle un tratamiento adecuado a los desechos líquidos que se generan en el municipio.	<p>Dar financiamiento a la UGAM para que en base a los resultados obtenidos del estudio técnico sobre desechos líquidos realice el diseño y la construcción de una planta de tratamiento de desechos líquidos.</p> <p>Establecer un plazo de entrega de la planta de tratamiento de desechos líquidos.</p>
Construcción de letrinas aboneras	Reducir las excretas al aire libre.	<p>Capacitar a los pobladores del área rural sobre la construcción y uso de letrinas aboneras.</p> <p>Construir en las viviendas del área rural letrinas aboneras.</p>
Construcción de estructuras de tratamiento de aguas grises a nivel domiciliar (filtros)	Tratar las aguas grises que se generan a nivel domiciliar en áreas rurales.	<p>Capacitar a los pobladores del área rural sobre la construcción de estructuras domiciliarias para el tratamiento de aguas grises.</p> <p>Construir en las viviendas del área rural estructuras domiciliarias para el tratamiento de aguas grises.</p>
Reglamento municipal sobre desechos líquidos	Establecer las formas en que los pobladores deberán de tratar y disponer finalmente los desechos líquidos.	<p>Formular un reglamento municipal de desechos líquidos.</p> <p>Divulgar con los pobladores el reglamento municipal de desechos líquidos.</p>
Plan de monitoreo de desechos líquidos	Evaluar anualmente la funcionalidad de las acciones que se han tomado para mejorar el manejo de desechos líquidos.	<p>Establecer un mecanismo anual de monitoreo el cual permita verificar el impacto que están teniendo las acciones que se están llevando a cabo para mejorar el manejo de desechos líquidos en el municipio.</p> <p>Analizar los resultados que se obtengan a partir del monitoreo sobre el manejo de desechos líquidos.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 34: Continuación del Cuadro 33.

ACTIVIDAD	OBJETIVO DE LA ACTIVIDAD	DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD
Reglamento municipal sobre zonas de pastoreo	Establecer las áreas y límites de pastoreo.	<p>Formular un reglamento municipal sobre zonas de pastoreo.</p> <p>Divulgar con los pobladores el reglamento municipal de zonas de pastoreo.</p>
Reforestación	Reforestar en las riberas de los ríos.	<p>Planificar anualmente jornadas de reforestación en las riberas de los ríos.</p> <p>Dar a conocer a la población el plan anual de jornadas de reforestación.</p> <p>Ejecutar el plan anual de jornadas de reforestación.</p>
Plan de monitoreo de calidad de agua	Establecer un sistema de monitoreo anual sobre la evaluación de la calidad del agua de los ríos.	<p>Establecer un mecanismo anual de monitoreo el cual permita conocer la calidad del agua de los ríos que se encuentran en el municipio.</p> <p>Analizar los resultados que se obtengan a partir del monitoreo de calidad del agua.</p>

Fuente: Elaboración propia.

5.7 Evaluación

Cuadro 35: Evaluación de las actividades a desarrollar para la propuesta de la gestión de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa del municipio de San Bartolomé Jocotenango.

ACTIVIDAD	RESULTADOS ESPERADOS	CRITERIOS DE CALIDAD
Fortalecimiento de la Unidad de Gestión Ambiental Municipal	Dentro de la UGAM existen y funcionan correctamente los departamentos que velan por la situación ambiental del municipio.	<p>Se conocen los propósitos, las características y la funcionalidad de los departamentos de la UGAM.</p> <p>Se han identificado los aspectos ambientales que no son atendidos por los departamentos de la UGAM.</p> <p>Se han creado nuevos departamentos dentro de la UGAM, con lo cual se logra cubrir los aspectos ambientales municipales.</p> <p>La UGAM conoce cuáles son sus funciones.</p> <p>Se cuenta con personal calificado en los departamentos de la UGAM.</p>
Organización de comités locales de medio ambiente y recursos naturales	A nivel municipal existen comités locales de medio ambiente y recursos naturales.	<p>A nivel municipal se cuenta con un reglamento para la creación y funcionamiento de comités locales de medio ambiente y recursos naturales.</p> <p>Los pobladores crean comités locales de medio ambiente y recursos naturales.</p> <p>Los comités locales de medio ambiente conocen sus funciones y están capacitados en temas ambientales.</p>
Coordinación institucional	Apoyo de instituciones gubernamentales y no gubernamentales en los procesos de gestión ambiental municipal.	<p>La municipalidad cuenta con una base de datos de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales que tienen relación con temas ambientales.</p> <p>Existen organizaciones gubernamentales y no gubernamentales que participan en los procesos de gestión ambiental que se desarrollan en el municipio.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 36: Continuación del Cuadro 35.

ACTIVIDAD	RESULTADOS ESPERADOS	CRITERIOS DE CALIDAD
Estudio técnico sobre desechos sólidos	Se conocen las características y cantidades de desechos sólidos que se generan en el área urbana del municipio.	La UGAM tiene una asignación presupuestaria para la realización del estudio técnico sobre los desechos sólidos que se generan en el área urbana. La UGAM cuenta con un estudio técnico sobre los desechos sólidos que se generan en el área urbana.
Construcción de planta de tratamiento de desechos sólidos	Se cuenta con una planta de tratamiento para el manejo de los desechos sólidos que se generan en el área urbana del municipio.	La UGAM tiene una asignación presupuestaria para el diseño y la construcción de una planta de tratamiento de desechos sólidos. Se cuenta con una planta de tratamiento para tratar los desechos sólidos que se generan en el área urbana.
Establecimiento de un sistema de recolección de desechos sólidos	Se cuenta con un sistema que recolecta los desechos sólidos que se generan en el área urbana del municipio.	Se cuenta con un plan para la recolección de desechos sólidos. Se cuenta con un prestador de servicios para la recolección de desechos sólidos.
Capacitación sobre manejo de desechos sólidos	Los pobladores tienen la capacidad para manejar adecuadamente los desechos sólidos.	Los desechos sólidos que se recolectan en el área urbana van debidamente clasificados de acuerdo al proceso que se les dará en la planta de tratamiento. En el área rural los pobladores saben cómo darles un manejo adecuado a los desechos sólidos.
Autorización de áreas a utilizar como basureros	Se disponen de áreas específicas para darle una disposición final a los desechos sólidos que no pueden ser tratados.	La municipalidad cuenta con una base de datos sobre las áreas que podrían ser utilizadas para la disposición de desechos sólidos. Dentro del municipio se cuenta con áreas debidamente identificadas para la disposición de desechos sólidos.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 37: Continuación del Cuadro 36.

ACTIVIDAD	RESULTADOS ESPERADOS	CRITERIOS DE CALIDAD
Jornadas de limpieza	Eliminación de desechos sólidos dispersos.	<p>La municipalidad cuenta con un plan anual de jornadas de limpieza en donde se especifica la forma en que se llevaran a cabo los procesos de recolección de desechos sólidos.</p> <p>Los pobladores conocen el plan anual de jornadas de limpieza.</p> <p>Anualmente se recolectan desechos sólidos que se encuentran dispersos dentro del municipio.</p>
Reglamento municipal sobre desechos sólidos	Se dispone de un reglamento que indica la forma en que los pobladores deberán manejar los desechos sólidos.	<p>A nivel municipal existe un reglamento de desechos sólidos.</p> <p>Los pobladores conocen el reglamento de desechos sólidos.</p>
Plan de monitoreo de desechos sólidos	Se cuenta con un plan anual para el monitoreo de las actividades en relación al manejo de los desechos sólidos.	<p>La municipalidad cuenta con un plan anual para el monitoreo de las actividades relacionadas al manejo de los desechos sólidos.</p> <p>La municipalidad conoce como se están desarrollando las actividades en relación al manejo de desechos sólidos y realiza anualmente los cambios y las mejoras necesarias.</p>
Estudio técnico sobre desechos líquidos	Se conocen las características y cantidades de desechos líquidos que se generan en el área urbana del municipio.	<p>La UGAM tiene una asignación presupuestaria para la realización del estudio técnico sobre los desechos líquidos que se generan en el área urbana.</p> <p>La UGAM cuenta con un estudio técnico sobre los desechos líquidos que se generan en el área urbana.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 38: Continuación del Cuadro 37.

ACTIVIDAD	RESULTADOS ESPERADOS	CRITERIOS DE CALIDAD
Construcción de planta de tratamiento de desechos líquidos	Se cuenta con una planta de tratamiento para tratar los desechos líquidos que se generan en el área urbana del municipio.	La UGAM tiene una asignación presupuestaria para el diseño y la construcción de una planta de tratamiento de desechos líquidos. Se cuenta con una planta de tratamiento para tratar los desechos líquidos que se generan en el área urbana.
Construcción de letrinas aboneras	Las viviendas que no están conectadas a una red de drenaje que conduce los desechos líquidos a una planta de tratamiento se tratan las aguas negras por medio de letrinas aboneras.	Las viviendas del área rural cuentan con una letrina abonera. Los pobladores conocen y saben utilizar las letrinas aboneras.
Construcción de estructuras de tratamiento de aguas grises a nivel domiciliar (filtros)	Las viviendas que no están conectadas a una red de drenaje que conduce los desechos líquidos a una planta de tratamiento, tratan las aguas grises por medio de estructuras a nivel domiciliar.	Las viviendas del área rural cuentan con estructuras domiciliarias de tratamiento para tratar aguas grises. Los pobladores saben construir y conocen el funcionamiento de las estructuras domiciliarias para el tratamiento de aguas grises.
Reglamento municipal sobre desechos líquidos	Se dispone de un reglamento que indica la forma en que los pobladores deberán manejar los desechos líquidos.	A nivel municipal existe un reglamento de desechos líquidos. Los pobladores conocen el reglamento de desechos líquidos.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 39: Continuación del Cuadro 38.

ACTIVIDAD	RESULTADOS ESPERADOS	CRITERIOS DE CALIDAD
Plan de monitoreo de desechos líquidos	Se cuenta con un plan anual para el monitoreo de las actividades en relación al manejo de los desechos líquidos.	La municipalidad cuenta con un plan anual para el monitoreo de las actividades relacionadas al manejo de los desechos líquidos. La municipalidad conoce como se están desarrollando las actividades en relación al manejo de desechos líquidos y realiza anualmente los cambios y las mejoras necesarias.
Reglamento municipal sobre zonas de pastoreo	Se dispone de un reglamento que indica las áreas en donde se autoriza pastorear.	A nivel municipal existe un reglamento de zonas de pastoreo. Los pobladores conocen el reglamento de zonas de pastoreo.
Reforestación	Riberas de los ríos reforestadas.	La municipalidad cuenta con un plan anual de reforestación. Los pobladores conocen el plan anual de reforestación. Anualmente se reforestan las riberas de los ríos.
Plan de monitoreo de calidad de agua	Evaluación anual de la calidad del agua de los ríos.	La municipalidad cuenta con un plan anual para el monitoreo de la calidad del agua de los ríos que se encuentran dentro del municipio. La municipalidad cuenta con una base de datos sobre la calidad del agua de los ríos que se encuentran dentro del municipio.

Fuente: Elaboración propia.

5.8 Búsqueda de alianzas estratégicas

La municipalidad, como ente ejecutor de la presente propuesta, deberá solicitar al Instituto Nacional de Bosques, al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social que puedan brindar apoyo técnico en el desarrollo de las diferentes actividades.

5.9 Fuentes de financiamiento

La principal fuente de financiamiento para lograr que la propuesta se desarrolle, deberá ser la municipalidad de San Bartolomé Jocotenango; así mismo, esta también será la encargada de gestionar recursos antes organizaciones no gubernamentales y de administrar los mismos a fin de que puedan llevarse a cabo cada una de las actividades que se proponen.

5.10 Impacto del proyecto

Con la ejecución de la presente propuesta se espera que en el municipio de San Bartolomé Jocotenango se logren obtener impactos sociales y ambientales; dentro de los impactos sociales esperados están: fomento de la organización comunitaria, prestación de servicio de recolección de desechos sólidos, eliminación de fuentes de vectores de transmisión de enfermedades, ambientes más limpios, desarrollo de capacidades de saneamiento básico; y dentro de los impactos ambientales están: mitigación de los impactos negativos que el alteran el ambiente, reducción de dispersión de desechos sólidos, tratamiento de desechos sólidos y líquidos, reforestación de riberas de los ríos y la reglamentación relacionada a actividades que son focos de contaminación.

5.11 Población beneficiaria directa

La población que se beneficiara directamente con la ejecución de la presente propuesta son 5,122 habitantes, los cuales viven en las comunidades que son atravesadas por los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa, ya que esta propuesta pretende ponerle principal atención a las actividades que se desarrollan a las riberas de los ríos, y también sin en el largo plazo se logrará recuperar la calidad del agua los pobladores podrían hacer un uso alternativo de las aguas de los ríos en un futuro.

5.12 Población beneficiaria indirecta

En el corto plazo la población que se beneficiara indirectamente con la ejecución de la presente propuesta son los 15,032 habitantes que viven en el municipio de San Bartolomé Jocotenango, ya que las acciones que en esta se establecen permitirán que los pobladores puedan gozar de ambientes naturales saludables. En el mediano plazo se verán beneficiados los pobladores que forman parte de la subcuenca del río Chilil (22,141 habitantes).

5.13 Evaluación del impacto en el corto y mediano plazo

Se espera que en el corto plazo la municipalidad realice la planificación del desarrollo de las actividades propuestas, y delegue a las diferentes oficinas municipales la ejecución de las actividades correspondientes; y en el mediano plazo se espera que organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, así como la población del municipio este participando en el desarrollo de las actividades propuestas.


IV. BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo Méndez, C. D., Acevedo Méndez, O. D., Acevedo Méndez, J., Arroyo Osorno, E., Cartaballo Ótarola, K., Masís Castillo, K. A., y otros. (2013). *Utilización del índice BMWP'-CR para análisis de la calidad del agua en Quebrada Barro, Montecillos*. Colegios Gregorio José Ramírez CASTRO. Costa Rica: The Globe Program.
2. Acuña Campos, E. S. (2013). *Determinación de la calidad del agua en la cuenca del río Quiscab, departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
3. Arias Sánchez, Ó., Dobles Mora, R., & Ávila Agüero, M. L. (2007). *Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales*. Costa Rica: La Gaceta.
4. Camacho Bareiro, A., & Ariosa Roche, L. (2000). Diccionario de Términos Ambientales. En A. Camacho Bareiro, & L. Ariosa Roche, *Diccionario de Términos Ambientales* (pág. 60). Cuba: Publicaciones Acuario.
5. Carrera, J. L., Gálvez, J., & López, E. (2009). *Recursos hídricos: mucha agua, poca gestión*. Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente; Universidad Rafael Landívar.
6. Casal, P. (10 de Marzo de 2012). *La Reserva*. Recuperado el 21 de Marzo de 2016, de La Reserva: http://www.lareserva.com/home/10_rios_mas_contaminados_del_planeta
7. Castellon Garay, R. D. (2013). *Evaluación rápida de la calidad del agua utilizando macroinvertebrados acuáticos durante la temporada lluviosa en la microcuenca El Chimbo*. Honduras: Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
8. Comisión Guatemalteca de Normas, Ministerio de Economía, Comité Técnico de Normalización de Metodologías Microbiológicas. (2013). Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001, *Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones*.
9. Congreso de la República de Guatemala. (2010). *Código Municipal, Decreto No. 22-2010*.

10. Congreso de la República de Guatemala. (1997). *Código de Salud, Decreto 90-97*.
11. Congreso de la República de Guatemala. (1993). *Constitución Política de la República de Guatemala*.
12. Congreso de la República de Guatemala. (1986). *Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto No. 68-86*.
13. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.
14. InspirAction. (s.f.). Recuperado el 21 de Marzo de 2016, de InspirAction: <https://www.inspiration.org/cambio-climatico/contaminacion/rios-contaminados>
15. Méndez Spiegel, S. A. (2015). *Determinación de la influencia de las características fisicoquímicas medidas a través del índice simplificado de calidad del agua (ISQA), sobre la biota medida a través del índice biótico BMWP en la microcuenca del río Contreras del municipio de Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
16. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2009). Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo (UPGGR). *Mapa de cuencas hidrográficas a escala 1:50,000, República de Guatemala. Método Pfafstetter (Primera aproximación)*. Memoria técnica y descripción de resultados. Guatemala.
17. Mora, O., & Zuñiga, R. (2011). Gestión de la calidad ambiental. En O. Mora, & R. Zuñiga, *Conceptos de calidad ambiental* (págs. 3-4). Costa Rica: Ministerio de Seguridad Pública.
18. Pari Huaira, A. (11 de Octubre de 2012). *Slideshare*. Recuperado el 22 de Marzo de 2016, de Slideshare: <http://es.slideshare.net/alfredoparihuaira3/agua-superficial>
19. Roldan, L. (2010). *Área temática 3.3. Calidad de las aguas, índices de calidad de agua*. Argentina: Dirección Nacional de Medio Ambiente, MVOTMA.
20. Toledo, T. (s.f.). *Academia*. Recuperado el 22 de Marzo de 2016, de Academia: http://www.academia.edu/9511155/Calidad_del_agua_evaluaci%C3%B3n_y_diagn%C3%B3stico

IV. ANEXOS

5.1 Anexo No.1: Lista de chequeo con equipo y materiales empleados en los monitoreos



**LISTA DE CHEQUEO
MATERIALES Y EQUIPO**

Fecha: _____ **Monitoreo No.** _____

Multiparámetros	1 unidad	
Sonda de conductividad eléctrica	1 unidad	
Sonda de oxígeno disuelto	1 unidad	
GPS	1 unidad	
Baterías Alcalinas AA	3 pares	
Cámara fotográfica	1 unidad	
Botas de hule	1 par	
Guantes de látex	1 caja	
Frascos plásticos herméticos esterilizados de 100 ml	25 unidades	
Red D	1 unidad	
Pinzas	1 unidad	
Lupa	1 unidad	
Recipiente plástico	1 unidad	
Pizeta con agua destilada	1 unidad	
Alcohol etílico al 70%	1 litro	
Marcador indeleble	1 unidad	
Tape sellador	1 rollo	
Tijera	1 unidad	
Etiquetas	25 unidades	
Hojas de registro para parámetros fisicoquímicos	1 unidad	
Hoja de registro para parámetros bióticos	1 unidad	
Hojas de registro para parámetros bacteriológicos	1 unidad	
Papel mayordomo	1 rollo	

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Anexo No.2: Formato para parámetros fisicoquímicos



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

MANCOSEQ
Mancomunidades de Municipios del
Corredor Seco de Quiché

HOJA DE REGISTRO
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

FECHA: _____

MONITOREO No. _____

Estación de Monitoreo	Hora de la toma de muestra	Datos in situ			Datos de Laboratorio	
		T (°C)	OD (mg/l)	Ce (µS/cm)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Anexo No.3: Formato para parámetros bióticos



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

MANCOSEQ
Mancomunidades de Municipios del
Corredor Seco de Quiché

HOJA DE REGISTRO
PARÁMETROS BIÓTICOS

FECHA: _____

MONITOREO No. _____

Hora de la Toma de Muestra	Estación de Monitoreo				
Familias Identificadas					

Fuente: Elaboración propia.

5.4 Anexo No.4: Formato para parámetros bacteriológicos



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

MANCOSEQ
Municipalidad del Municipio del
Concejo Seco de Quiché

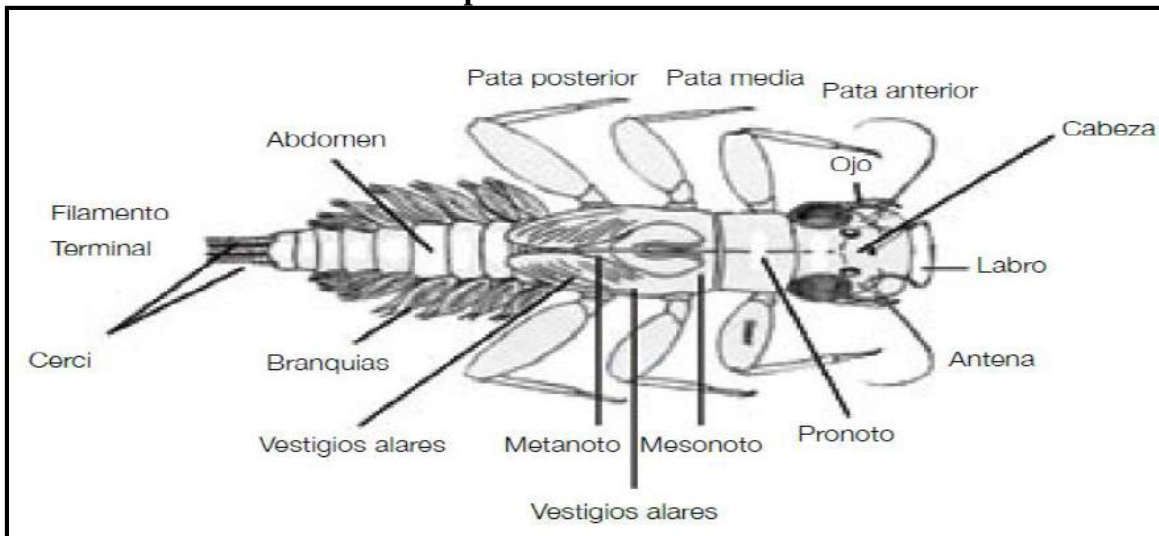
HOJA DE REGISTRO
PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS

FECHA: _____

	Estación de monitoreo				
Hora de la toma de muestra					
Descripción del entorno					
Coliformes totales (UFC/100 ml.)					

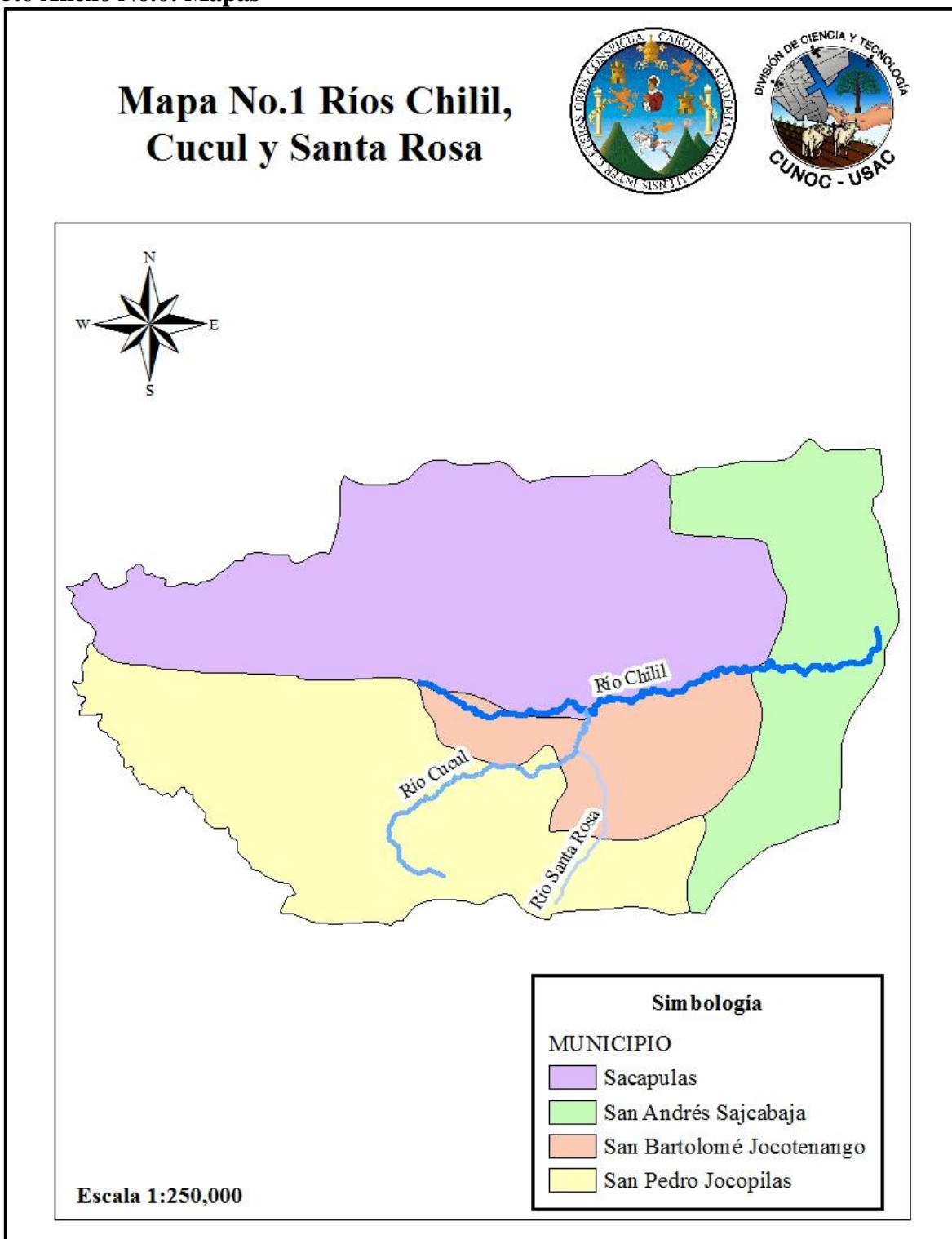
Fuente: Elaboración propia.

5.5 Anexo No.5: Ilustración de las partes de los macroinvertebrados



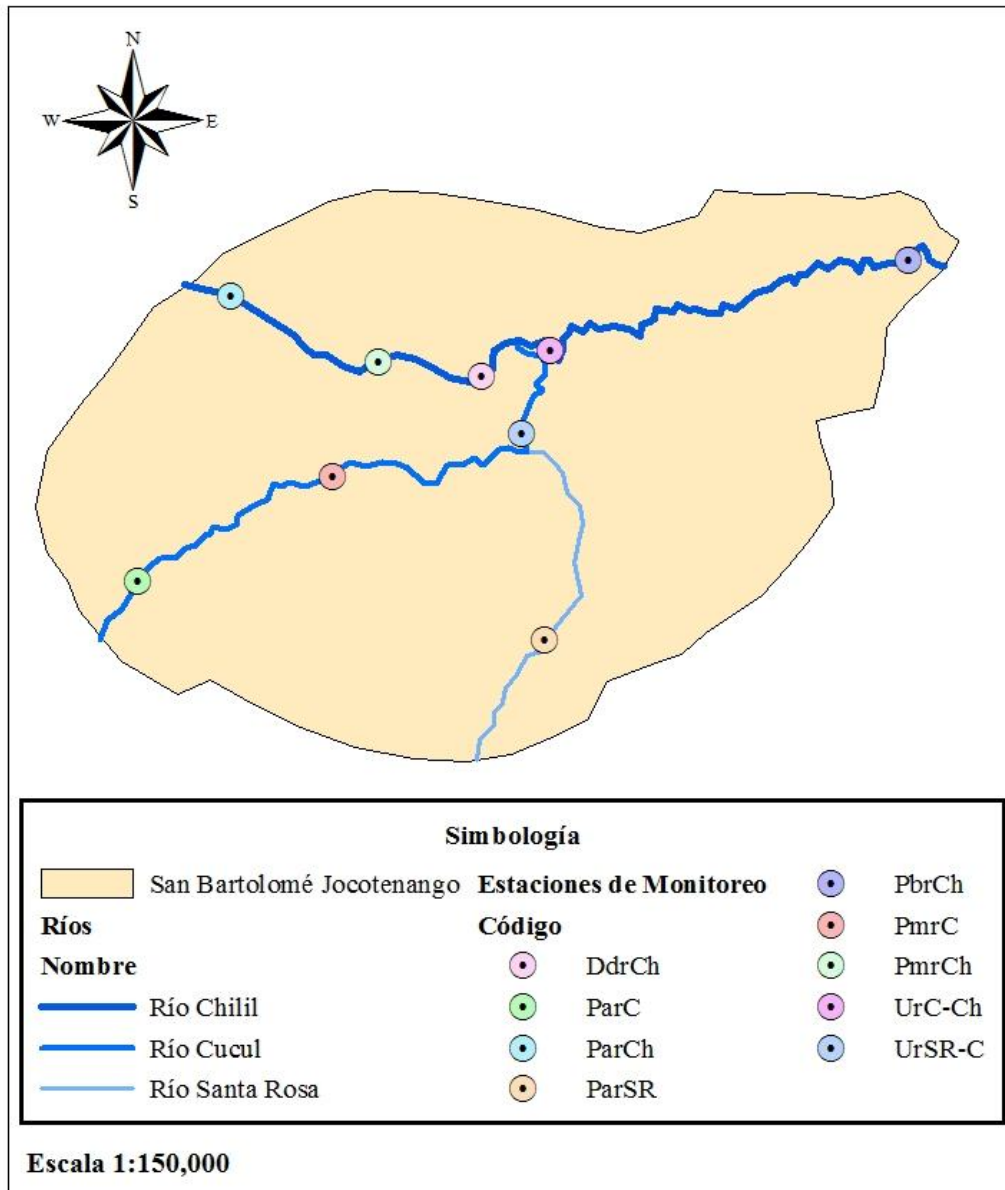
Fuente: Utilización del índice BMWP'-CR para análisis de la calidad del agua en Quebrada Barro, Montecillos, Costa Rica (Acevedo Méndez, C. D., Acevedo Méndez, O. D., Acevedo Méndez, J., Arroyo Osorno, E., Cartaballo Ótarola, K., Masís Castillo, K. A., y otros, 2013)

5.6 Anexo No.6: Mapas



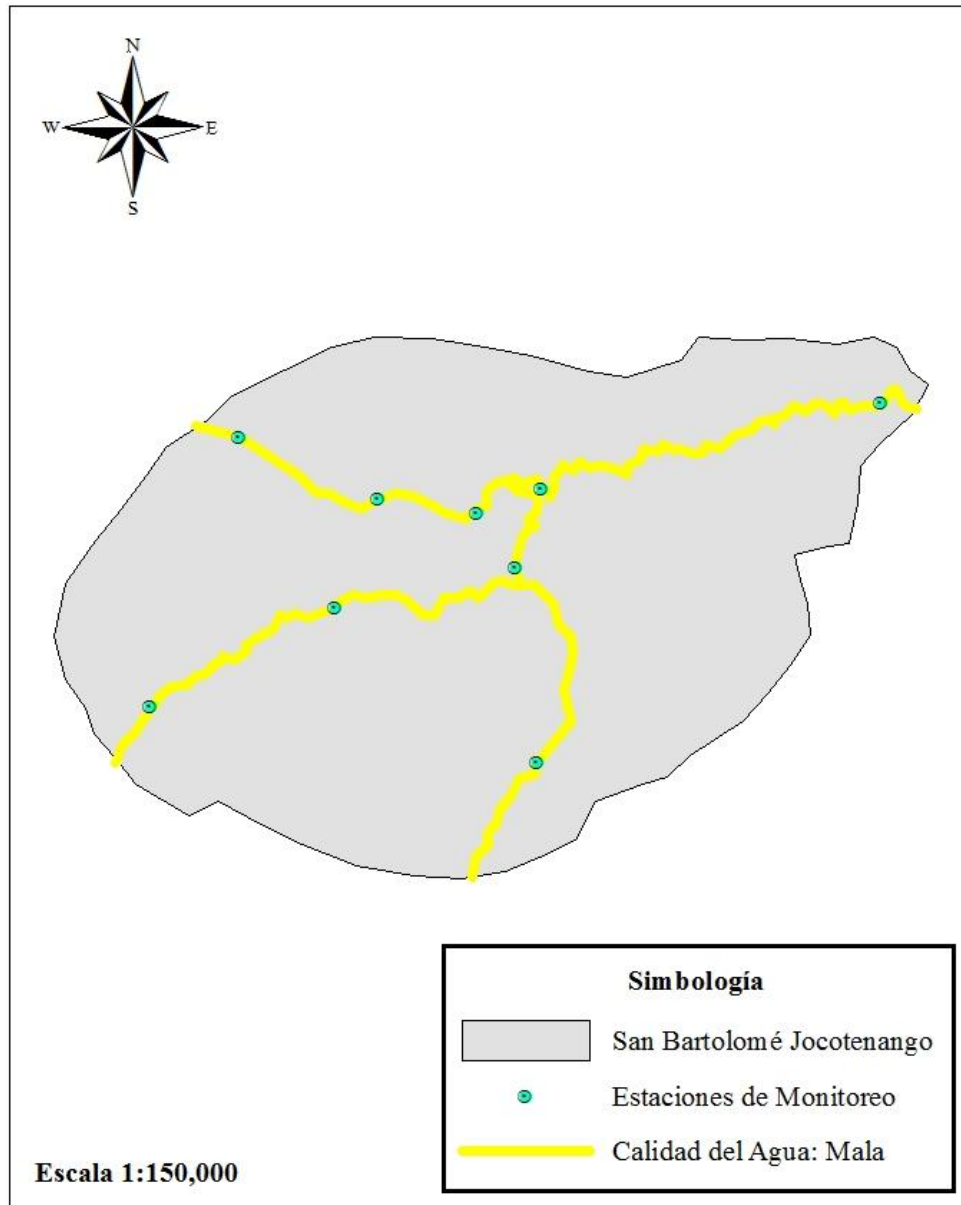
Fuente: Elaboración propia con shapes de cartografía nacional del año 2010.

Mapa No. 2 Ubicación de las Estaciones de Monitoreo



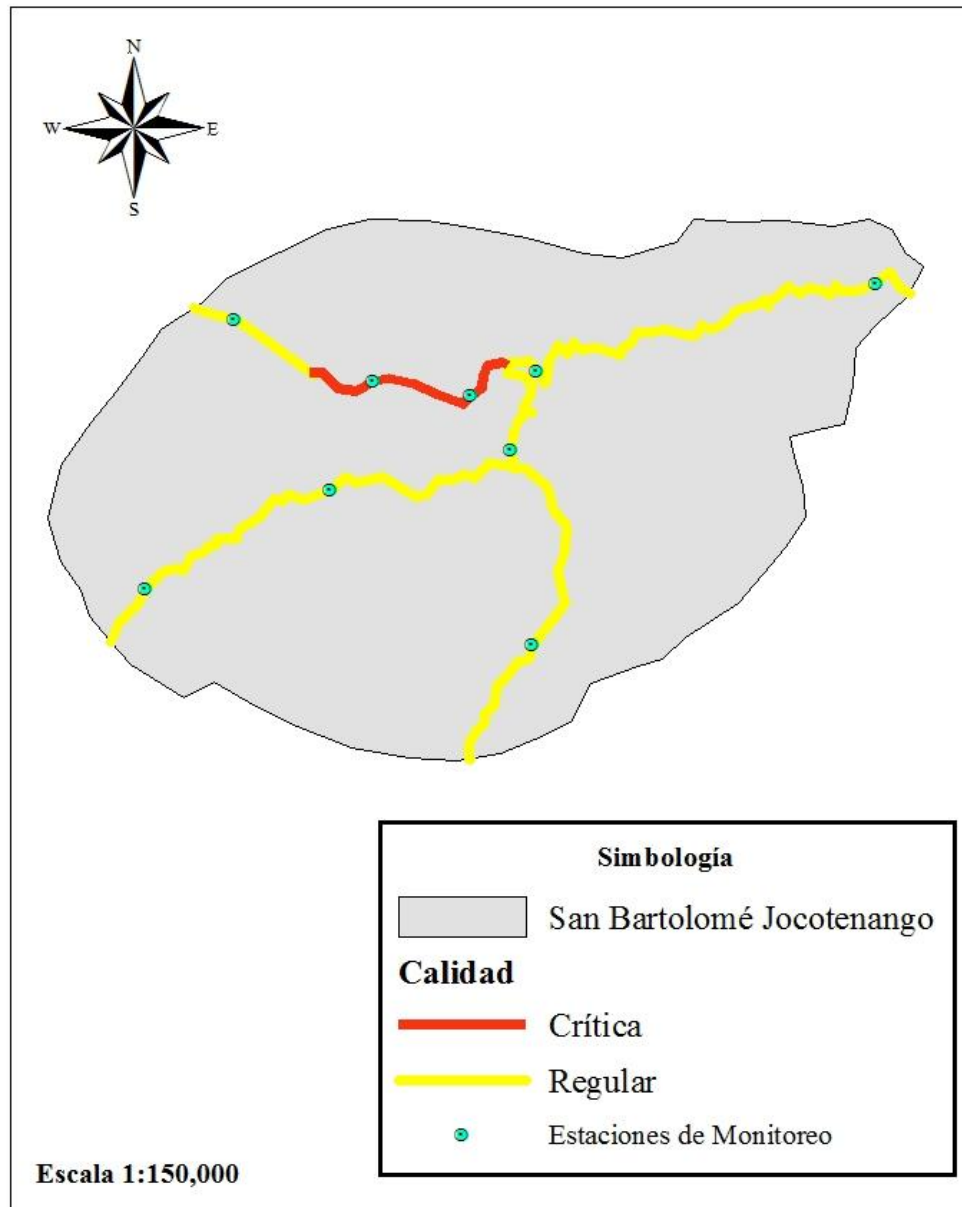
Fuente: Elaboración propia con shaples de cartografía nacional del año 2010 y coordenadas UTM tomadas en el municipio de San Bartolomé Jocotenango en el año 2016.

Mapa No. 3 Resultados del la calidad del agua según el ISQA



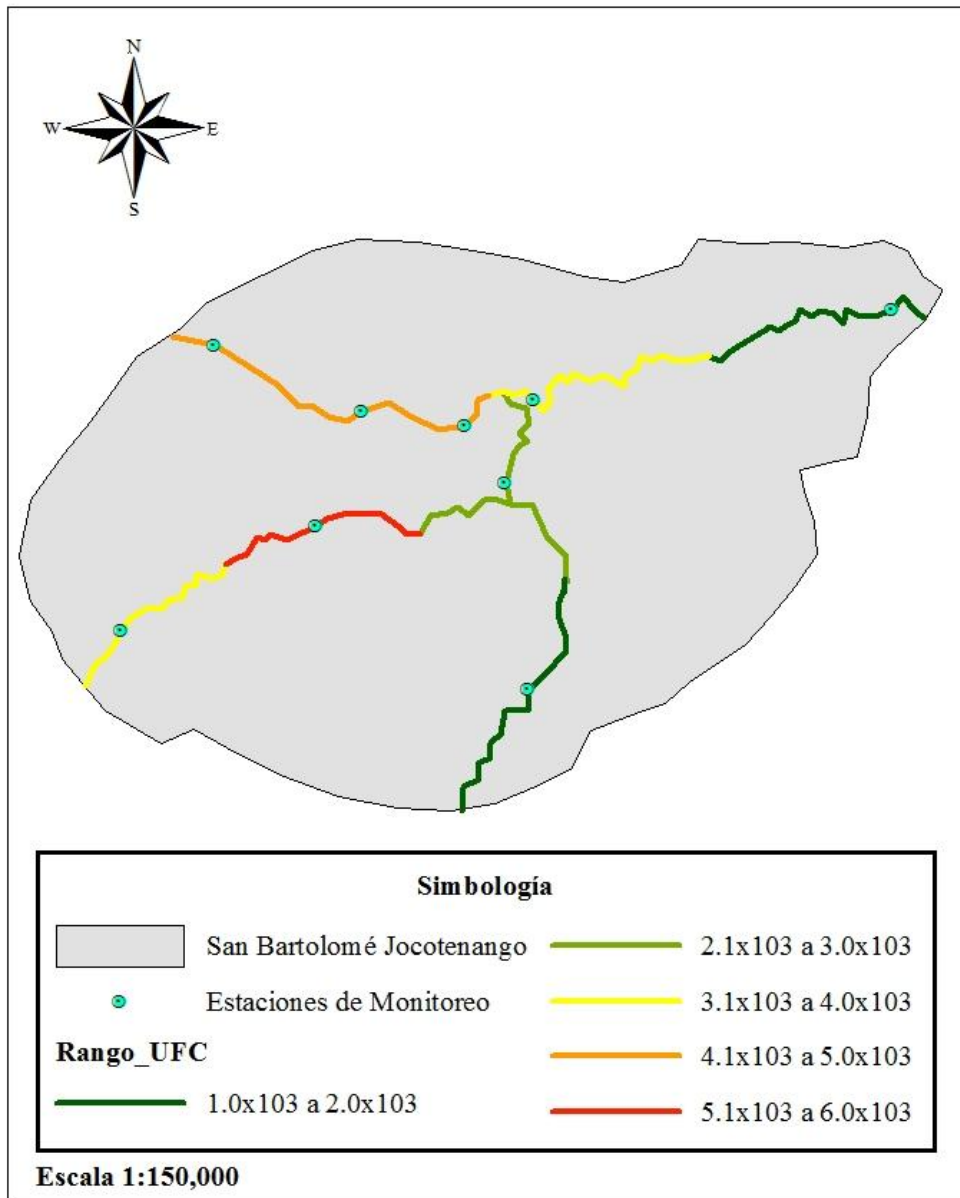
Fuente: Elaboración propia con shapes de cartografía nacional del año 2010, coordenadas UTM tomadas en el municipio de San Bartolomé Jocotenango en el año 2016 y resultados obtenidos en el año 2016 de la evaluación de las características fisicoquímicas del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa.

Mapa No. 4 Resultados del la calidad del agua según el BMWP-CR



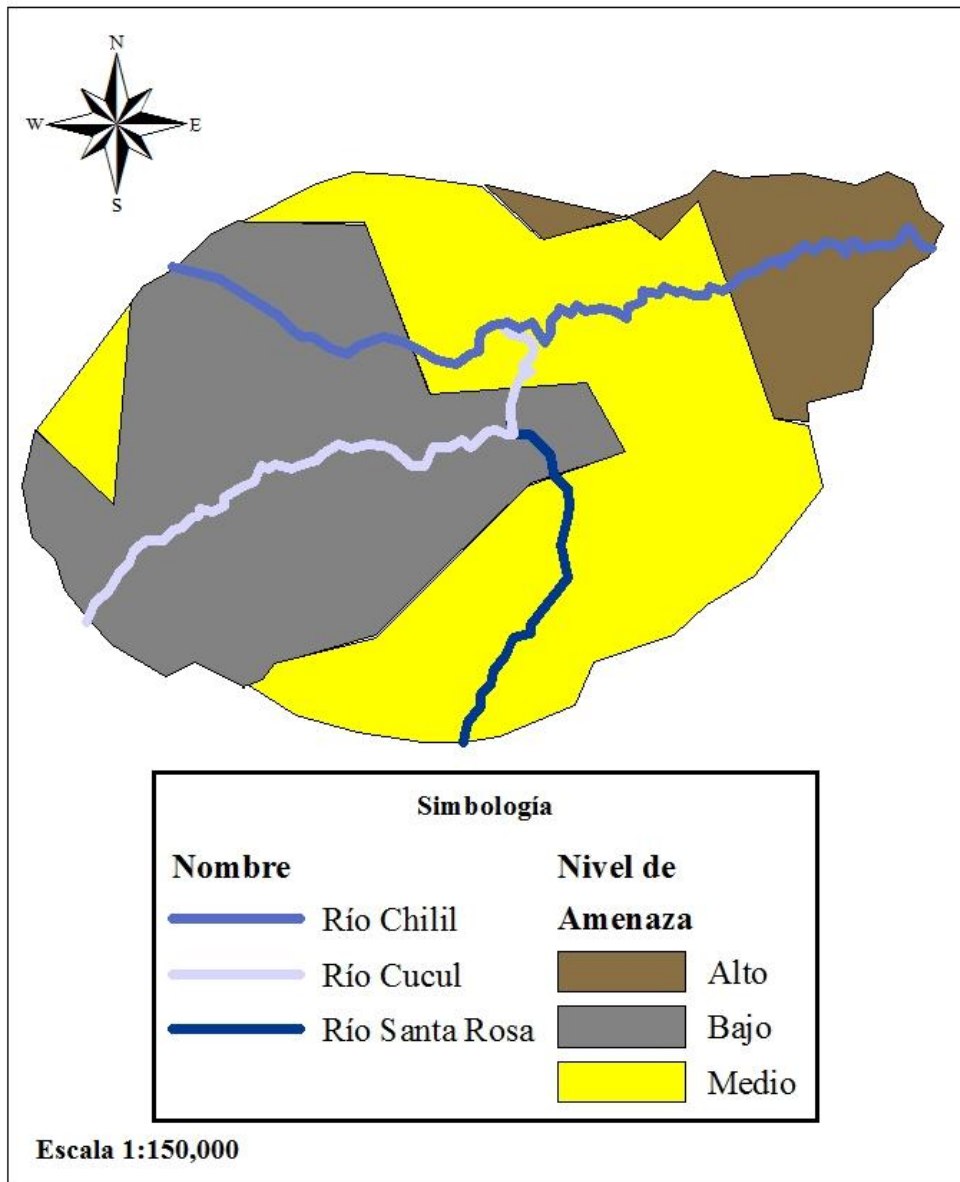
Fuente: Elaboración propia con shapes de cartografía nacional del año 2010, coordenadas UTM tomadas en el municipio de San Bartolomé Jocotenango en el año 2016 y resultados obtenidos en el año 2016 de la evaluación de las características bióticas del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa.

Mapa No. 5 Resultados del análisis bacteriológico



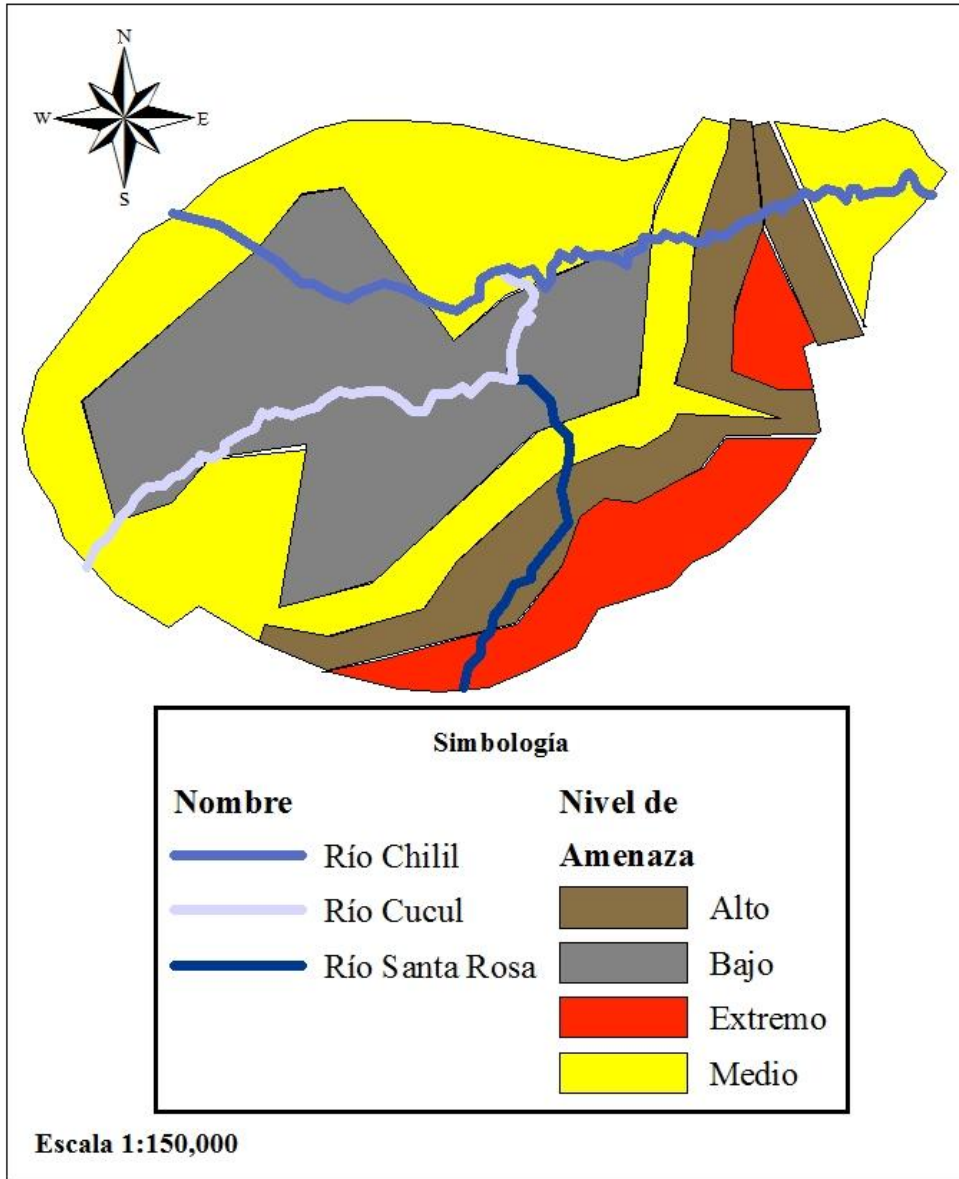
Fuente: Elaboración propia con shapes de cartografía nacional del año 2010, coordenadas UTM tomadas en el municipio de San Bartolomé Jocotenango en el año 2016 y resultados obtenidos en el año 2016 de la evaluación de las características bacteriológicas del agua de los ríos Chilil, Cucul y Santa Rosa.

Mapa No. 6 Percepción de amenaza por contaminación de desechos líquidos



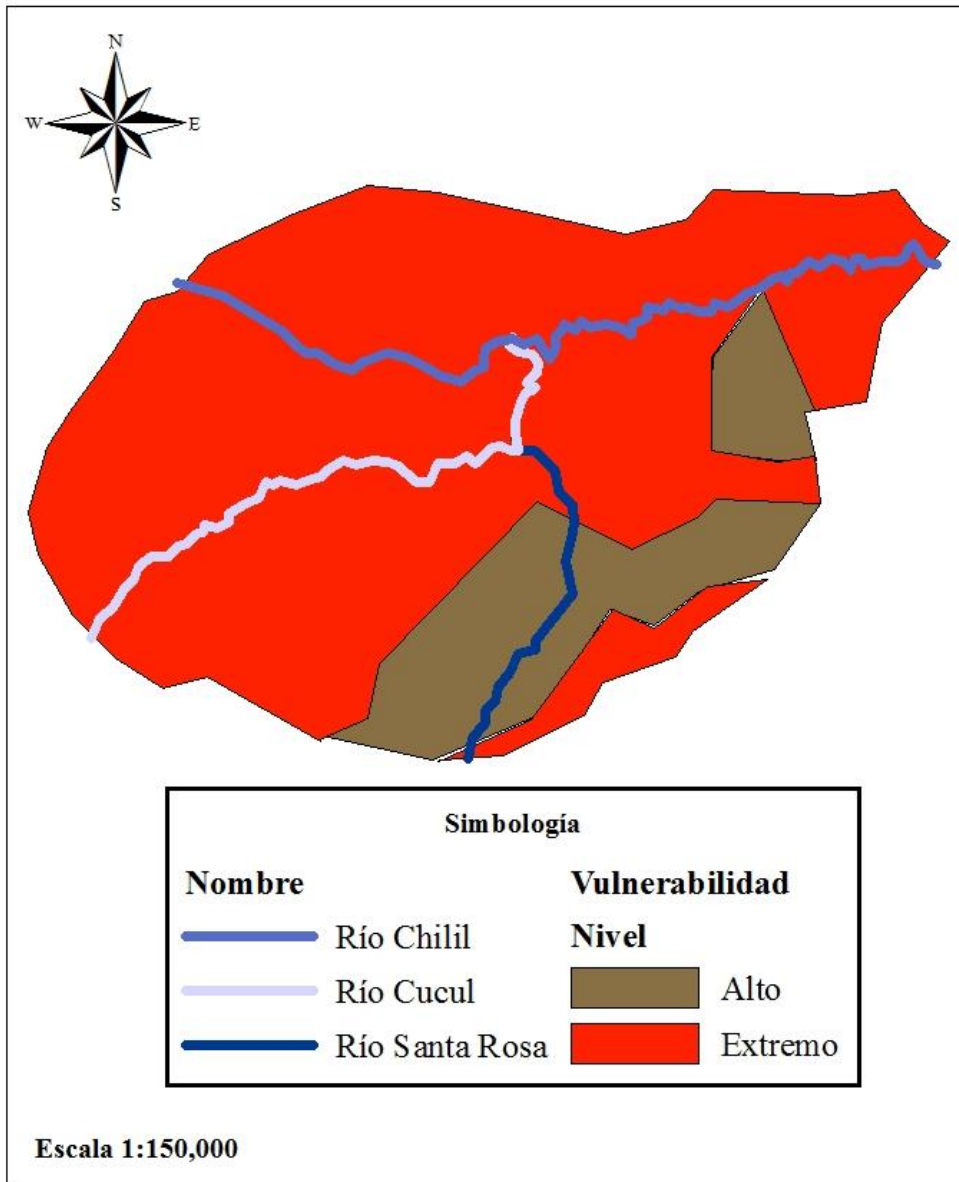
Fuente: Elaboración propia con shap es de la Dirección de Gestión de Riesgos de SEGEPLAN del año 2013.

Mapa No. 7 Percepción de amenaza por contaminación de desechos sólidos



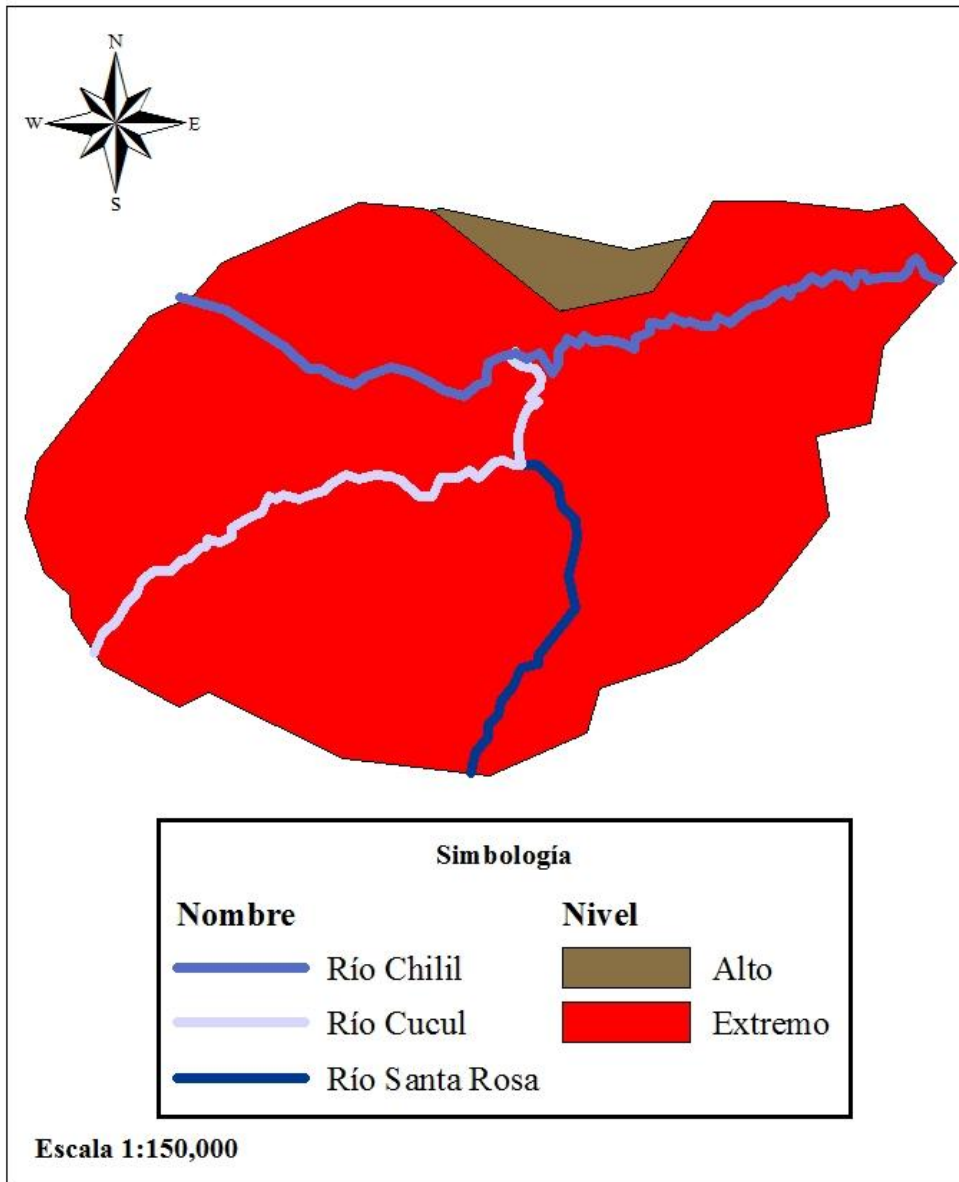
Fuente: Elaboración propia con shapes de la Dirección de Gestión de Riesgos de SEGEPLAN del año 2013.

Mapa No. 8 Vulnerabilidad del entorno a ser contaminado por el manejo de los desechos sólidos



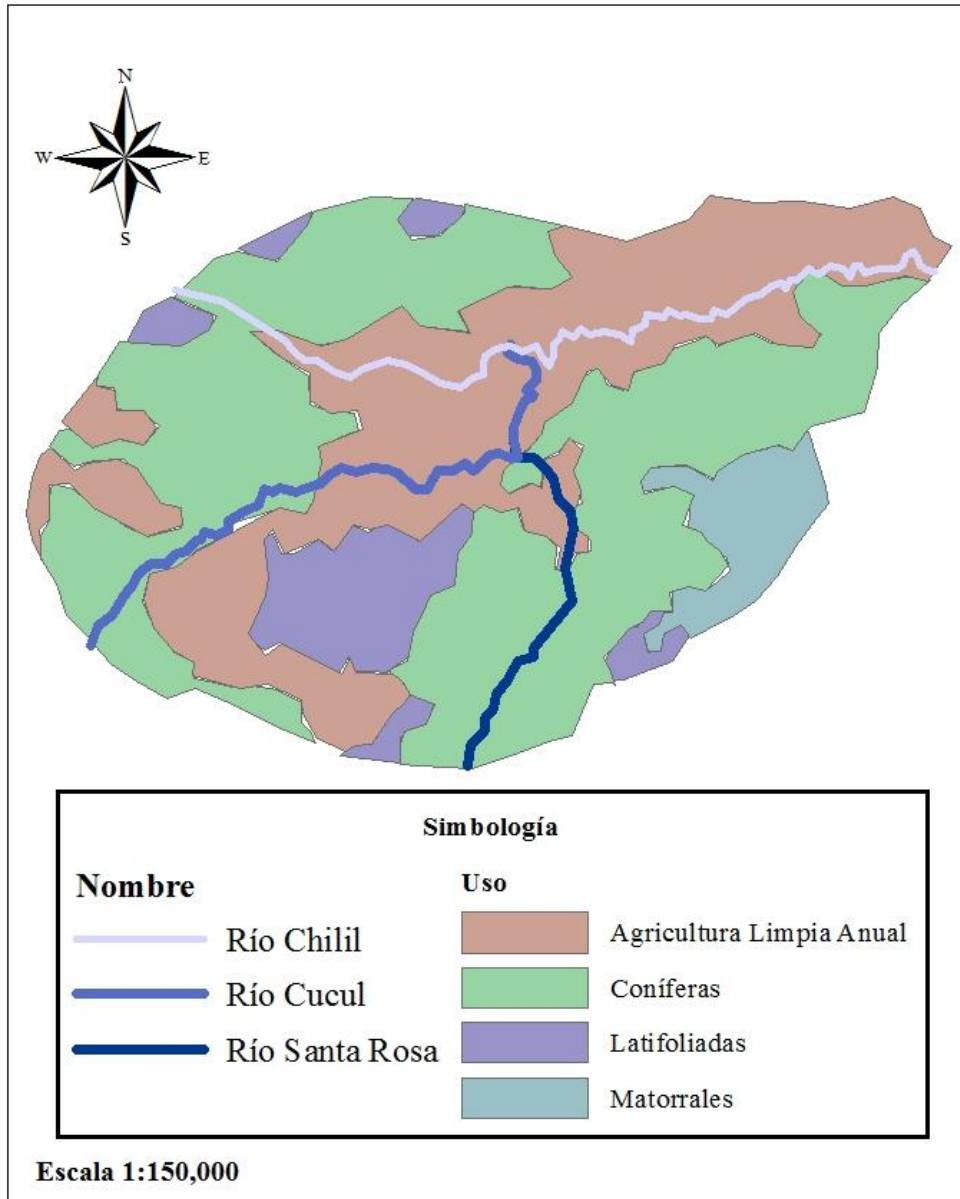
Fuente: Elaboración propia con shapes de la Dirección de Gestión de Riesgos de SEGEPLAN del año 2013.

Mapa No. 9 Vulnerabilidad del entorno a ser contaminado por el manejo de los desechos líquidos



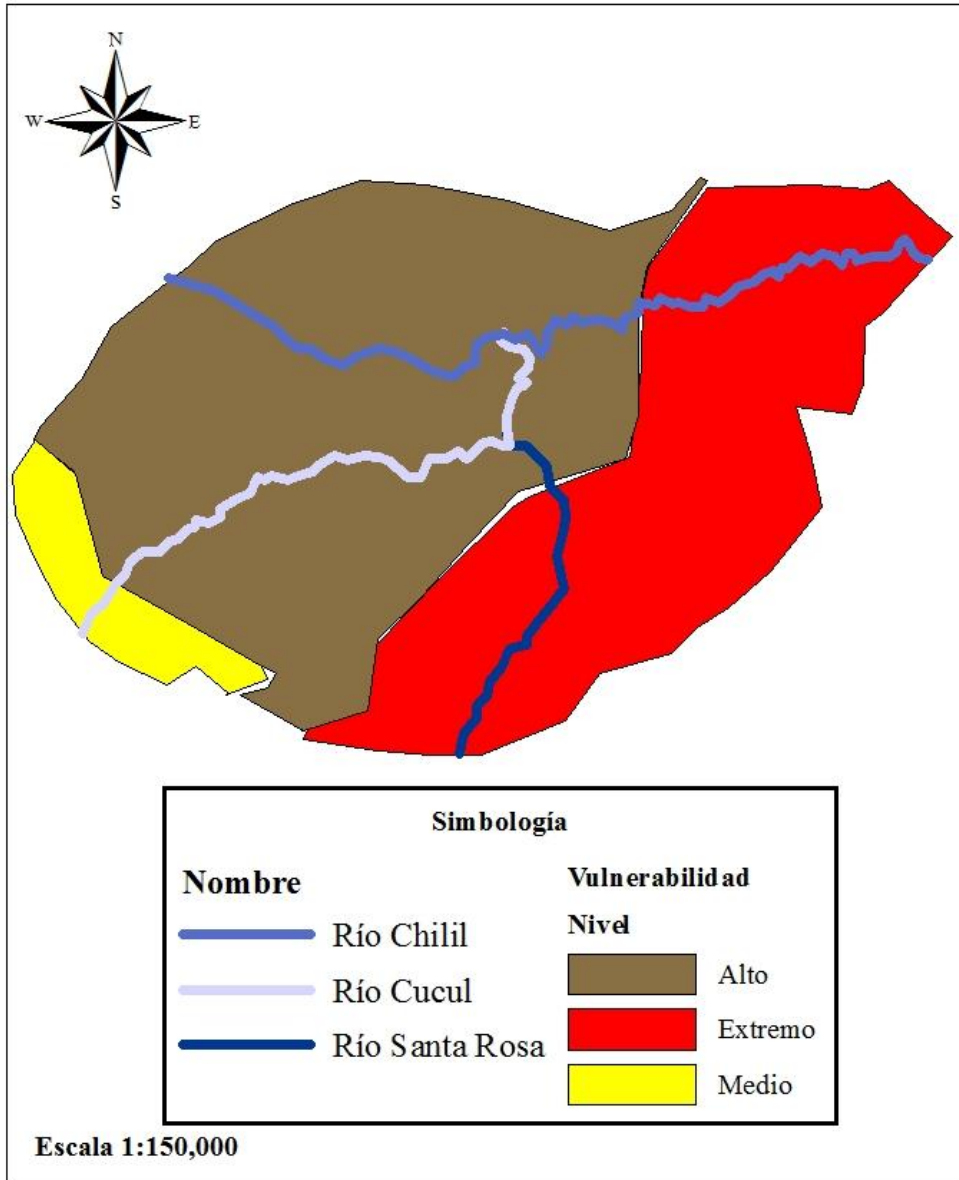
Fuente: Elaboración propia con shapes de la Dirección de Gestión de Riesgos de SEGEPLAN del año 2013.

Mapa No. 10 Uso del Suelo



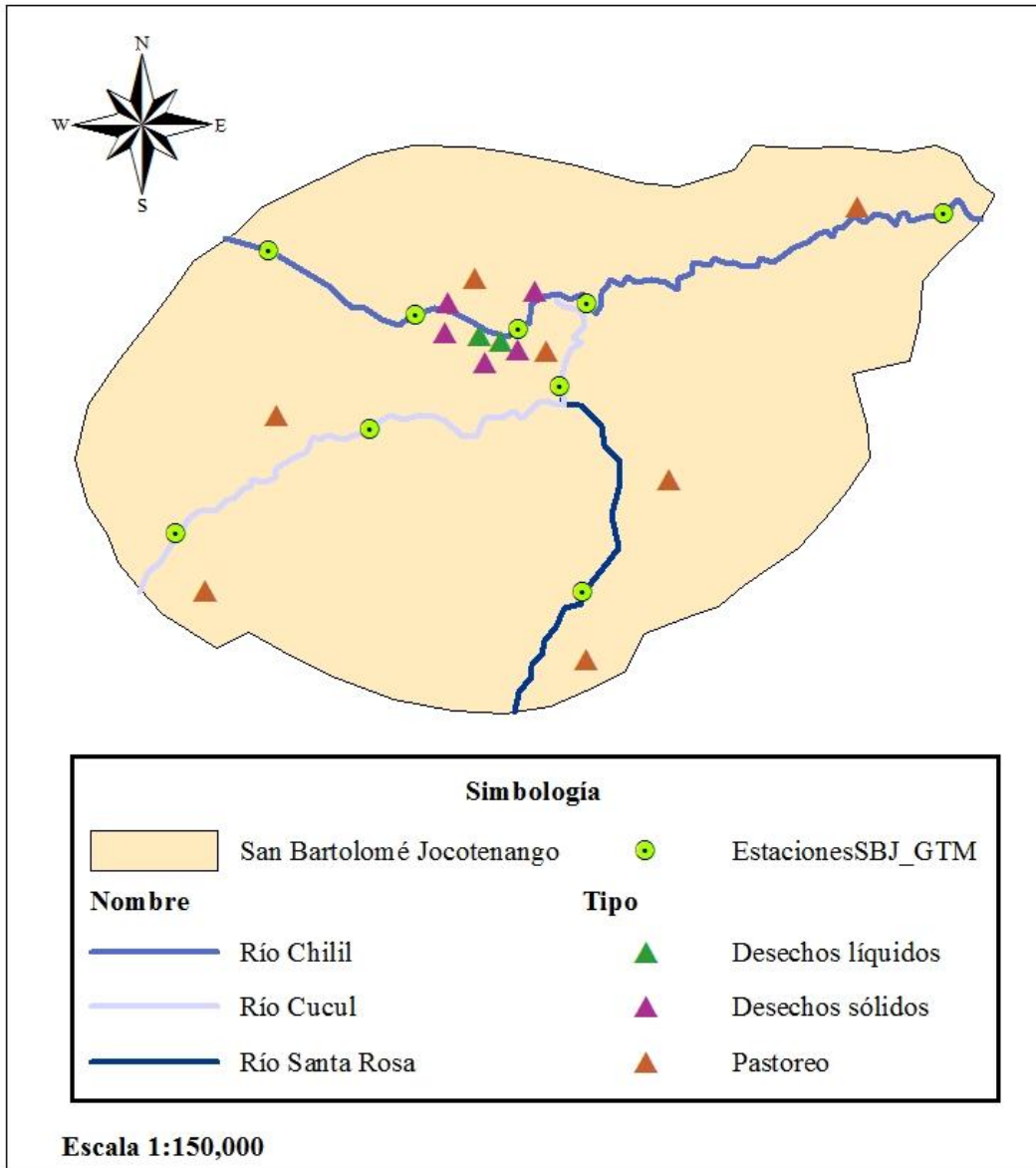
Fuente: Elaboración propia con shapes de la Dirección de Gestión de Riesgos de SEGEPLAN del año 2013.

Mapa No. 11 Percepción de vulnerabilidad en la intensidad del uso del suelo



Fuente: Elaboración propia con shapes de la Dirección de Gestión de Riesgos de SEGEPLAN del año 2013.

Mapa No. 12 Identificación de focos de contaminación



Fuente: Elaboración propia con shaps de cartografía nacional del año 2010 y coordenadas UTM tomadas en el municipio de San Bartolomé Jocotenango en el año 2016.

5.7 Anexo No.7: Fotografías

Fotografía 1: Caminata hacía una de las estaciones de monitoreo.



Lugar y fecha: San Bartolomé Jocotenango, 26/09/2016

Fotografía 2: Medición de conductividad eléctrica y temperatura.



Lugar y fecha: San Bartolomé Jocotenango, 26/09/2016

Fotografía 3: Captura de macroinvertebrados bentónicos.



Lugar y fecha: San Bartolomé Jocotenango, 26/09/2016

Fotografía 4: Recolección de macroinvertebrados bentónicos.



Lugar y fecha: San Bartolomé Jocotenango, 26/09/2016

Fotografía 5: Localización de estación de monitoreo.



Lugar y fecha: San Bartolomé Jocotenango, 03/10/2016

Fotografía 6: Toma de muestra de agua en frascos de 100 ml.



Lugar y fecha: San Bartolomé Jocotenango, 03/10/2016

Fotografía 7: Almacenamiento de muestra de agua en hielera.



Lugar y fecha: San Bartolomé Jocotenango, 03/10/2016

Fotografía 8: Medición de conductividad eléctrica y temperatura.



Lugar y fecha: San Bartolomé Jocotenango, 03/10/2016

Fotografía 9: Anotación de parámetros fisicoquímicos en hoja de registros.



Lugar y fecha: San Bartolomé Jocotenango, 03/10/2016

Fotografía 10: Captura de macroinvertebrados bentónicos.



Lugar y fecha: San Bartolomé Jocotenango, 03/10/2016

Fotografía 11: Medición de oxígeno disuelto y temperatura.



Lugar y fecha: San Bartolomé Jocotenango, 10/10/2016

Fotografía 12: Captura de macroinvertebrados bentónicos.



Lugar y fecha: San Bartolomé Jocotenango, 10/10/2016

Fotografía 13: Recolección de macroinvertebrados bentónicos.



Lugar y fecha: San Bartolomé Jocotenango, 10/10/2016

Fotografía 14: Macroinvertebrados del orden Megaloptera.



Lugar y fecha: San Bartolomé Jocotenango, 10/10/2016

Fotografía 15: Macroinvertebrados del orden Hemiptera.



Lugar y fecha: Santa Cruz del Quiché, 16/11/2016

Fotografía 16: Macroinvertebrados del orden Coleoptera.



Lugar y fecha: Santa Cruz del Quiché, 16/11/2016

Fotografía 17: Macroinvertebrados del orden Odonata.



Lugar y fecha: Santa Cruz del Quiché, 16/11/2016

Fotografía 18: Macroinvertebrados del orden Odonata.



Lugar y fecha: Santa Cruz del Quiché, 16/11/2016

Fotografía 19: Macroinvertebrados del orden Megaloptera.



Lugar y fecha: Santa Cruz del Quiché, 16/11/2016

Fotografía 20: Macroinvertebrados del orden Odonata.



Lugar y fecha: Santa Cruz del Quiché, 16/11/2016

Fotografía 21: Macroinvertebrados del orden Diptera.



Fuente: Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del Orden Diptera en El Salvador, página 18 (2010).

Fotografía 22: Macroinvertebrados del orden Ephemeroptera.



Fuente: Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del Orden Ephemeroptera en El Salvador, página 12 (2010).

Fotografía 23: Macroinvertebrados del orden Trichoptera.



Fuente: Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del Orden Trichoptera en El Salvador, página 24 (2010).

Fotografía 24: Macroinvertebrados del orden Annelida.



Fuente: Determinación de la calidad del agua en la cuenca del río Quiscab, departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos, página 82 (Acuña Campos, E. S. 2013).

5.8 Anexo No.8: Cronograma

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA LA EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN								
Actividad	Año 2016						Año 2017	
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Coordinación de actividades con MANCOSEQ y UGAM								
Reconocimiento del contexto espacial								
Identificación de puntos de contaminación								
Elección de estaciones de monitoreo								
Georeferenciación de las estaciones de monitoreo								
Determinación de momentos de monitoreo								
Solicitud para la utilización del equipo multiparámetros								
Monitoreos								
Análisis de laboratorio								
Tabulación de datos								
Análisis estadístico de datos								
Elaboración de mapas								
Interpretación de resultados								
Formulación de la propuesta								
Elaboración del informe final								

5.9 Anexo No. 9: Presupuesto

Presupuesto para la realización de la Investigación				
Descripción	Costo Unitario (Q)	Cantidad	Costo Total (Q)	Fuente de Financiamiento
Baterías alcalinas AA	20.00	11 pares	220.00	Epesista
Impresiones	0.40	1250 páginas	500.00	Epesista
Tape sellador	14.00	1 rollo	14.00	Epesista
Marcador indeleble	5.00	1 unidad	5.00	Epesista
Frascos de 100 ml	1.75	63 unidades	110.25	MANCOSEQ/Epesista
Guantes de látex talla S	45.00	1 caja	45.00	MANCOSEQ
Red manual tipo D	75.00	1 unidad	75.00	Epesista
Lupa	50.00	1 unidad	50.00	Epesista
Alcohol al 70%	14.50	2 litro	29.00	MANCOSEQ/Epesista
Agua destilada	13.00	1 litro	13.00	Epesista
Pinza	15.00	1 unidad	15.00	Epesista
Papel mayordomo	5.00	1 rollo	5.00	Epesista
Análisis de SST	15.00	27 muestras	405.00	Epesista
Análisis de DQO	40.00	27 muestras	1,080.00	MANCOSEQ/Epesista
Análisis de Coliformes	30.00	9 muestras	270.00	Epesista
Combustible	25.00	8 galones	200.00	MANCOSEQ/UGAM
Viáticos	125.00	13 viajes	1,625.00	MANCOSEQ/Epesista
Servicios técnicos	687.50	40 semanas	27,500.00	-----
COSTO TOTAL DE LA INVESTIGACIÓN			Q 32,161.25	